

**STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI
TEGANGAN DAN REGANGAN BETON**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**KAMILIYANA PUTERI ASTUTI
NIM. 145060100111040**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

***Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada :
Bapak, Mama, dan Mbakku Tercinta***

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 9 Januari 2018

Mahasiswa,

Kamiliyana Puteri Astuti

145060100111040

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, Kami panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan dan Regangan Beton**.

Skripsi ini telah kami susun dengan maksimal dan mendapatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan makalah ini. Untuk itu kami menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr. Eng. Ming Narto W, ST., M.Sc selaku dosen Pembimbing 1 dan dosen penasehat akademik
3. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc selaku dosen Pembimbing 2
4. Bapak Moh Suhdi dan Dwi Puji Astuti selaku orangtua tercinta
5. Annisa Putri Astuti selaku kakak tercinta
6. Skripsweet team yang terdiri dari Albertus Eky, Fatimah A, Wikha F, Agus Salim, dan Gandhi W
7. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Serta teman-teman terdekat yang telah memberikan semangat agar saya cepat menyelesaikan skripsi ini.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu dengan tangan terbuka kami menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar kami dapat memperbaiki skripsi ini.

Akhir kata kami berharap semoga skripsi dapat memberikan manfaat maupun inspirasi terhadap pembaca.

Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Umum	4
2.2 Tegangan.....	4
2.2.1 Komponen Tegangan.....	5
2.3 Regangan.....	5
2.4 Hubungan Tegangan-Regangan.....	5
2.4.1 Kurva Tegangan-Regangan Beton.....	6
2.4.2 Kurva True Stress dan True Strain	7
2.5 Metode Numerik	8
2.6 Analisis Metode Elemen Hingga	8
2.6.1 Tipe Elemen.....	9
2.6.2 Koefisien gesek	10
2.6.3 Tegangan von Mises	11
2.6.4 Parameter-Parameter pada ABAQUS	12
2.6.4.1 Modulus Elastisitas	12
2.6.4.2 Berat Isi.....	12
2.6.4.3 Poisson's Ratio	12
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1 Uji Ekperimental	13

3.1.1 Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.1.2 Bahan Penelitian	13
3.1.3 Peralatan Penelitian	13
3.1.4 Rancangan Penelitian	14
3.1.5 Variabel Penelitian	15
3.1.6 Prosedur Pengujian Laboratorium	16
3.1.6.1 Pengujian Bahan Dasar	16
3.1.6.2 Pembuatan Benda Uji	16
3.1.6.3 Perawatan Benda Uji	17
3.1.6.4 Pengujian Kuat Tekan.....	17
3.1.6.5 Pengolahan Data	18
3.1.6.6 Diagram Alir Penelitian	18
3.2 Uji Numerik	19
3.2.1 Prosedur Pemodelan Numerik	19
3.2.2 Diagram Alir Analisis dengan Software Abaqus 6.13 trial	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Data Teoritis	27
4.2 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Perhitungan Teoritis	27
4.3 Pengolahan Data Numerik.....	30
4.4 Hasil Pemodelan pada Berbagai Macam Analisis	32
4.4.1 Hasil Pemodelan pada Analisis Sensitivitas	32
4.4.2 Hasil Pemodelan pada Analisis Tegangan-Regangan	32
4.4.2.1 Perbandingan Perhitungan Teoritis dengan Pemodelan Numerik.....	32
4.4.2.2 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Pemodelan Numerik.....	35
4.4.2.3 Perbandingan Letak Keretakan	39
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Rancangan penelitian beton.....	15
Tabel 3.2	Form pengujian kuat tekan	15
Tabel 3.3	<i>Mix design</i> beton dengan variasi mutu	16
Tabel 3.3	Perbandingan rasio proporsi berat	16
Tabel 4.1	Penamaan untuk jenis analisis sensitivitas	30
Tabel 4.2	Penamaan untuk jenis analisis tegangan-regangan.....	30
Tabel 4.3	Penamaan untuk jenis analisis tegangan-regangan	31
Tabel 4.4	Parameter material model.....	31
Tabel 4.5	Perbedaan hasil analisis sensitivitas	32
Tabel 4.6	Rekapitulasi Hasil Uji Numerik dan Teoritis	34
Tabel 4.7	Kesalahan relatif tegangan Teoritis dan numerik.....	35
Tabel 4.8	Kesalahan relatif regangan Teoritis dan Numerik.....	35
Tabel 4.9	Rekapitulasi Hasil Uji Numerik dan Eksperimental	40
Tabel 4.10	Kesalahan relatif tegangan Uji Eksperimental dan Numerik	41
Tabel 4.11	Kesalahan relatif regangan Uji Eksperimental dan Numerik	41

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Komponen tegangan yang bekerja pada suatu titik	5
Gambar 2.2	Kurva hubungan tegangan-regangan	6
Gambar 2.3	Idealisasi kurva tegangan-regangan beton	6
Gambar 2.4	Kurva antara <i>engineering</i> dan <i>true stress-strain</i>	8
Gambar 2.5	Kelompok elemen yang sering digunakan	9
Gambar 2.6	Jumlah titik pada elemen	10
Gambar 2.7	Daerah slip pada model gesekan Coulomb	11
Gambar 3.1	Mesin Tekan (kiri) ; penempatan strain gauge dan ekstensometer (tengah); strain meter (kanan)	17
Gambar 3.2	Tampilan awal	19
Gambar 3.3	Tampilan pembuatan geometri	20
Gambar 3.4	Tampilan kotak paramater material	20
Gambar 3.5	Tampilan model yang telah di <i>assembly</i>	21
Gambar 3.6	Tampilan <i>step module</i>	21
Gambar 3.7	Tampilan <i>interaction module</i>	22
Gambar 3.8	Tampilan <i>elemen type</i>	22
Gambar 3.9	Tampilan pembuatan <i>meshing</i>	23
Gambar 3.10	Tampilan pemberian beban	23
Gambar 3.7	Tampilan pemberian kondisi batas	24
Gambar 3.8	Tampilan akhir	24
Gambar 4.1	Kurva hubungan tegangan-regangan berdasarkan rumus Park dan Paul (1975)	27
Gambar 4.2	Kurva tegangan-regangan $f_c=20$ MPa	28
Gambar 4.3	Kurva tegangan-regangan $f_c=25$ MPa	28
Gambar 4.4	Kurva tegangan-regangan $f_c=30$ MPa	28
Gambar 4.5	Kurva tegangan-regangan $f_c=35$ MPa	29
Gambar 4.6	Hasil model ATRT 1	33
Gambar 4.7	Hasil model ATRT 2	33
Gambar 4.8	Hasil model ATRT 3	33
Gambar 4.9	Hasil model ATRT 4	34

Gambar 4.10 Hasil model ATRE 1	35
Gambar 4.11 Hasil model ATRE 2	35
Gambar 4.12 Hasil model ATRE 3	35
Gambar 4.13 Hasil model ATRE 4	36
Gambar 4.14 Hasil model ATRE 5	36
Gambar 4.15 Hasil model ATRE 6	36
Gambar 4.16 Hasil model ATRE 7	37
Gambar 4.17 Hasil model ATRE 8	37
Gambar 4.18 Hasil model ATRE 9	37
Gambar 4.19 Hasil model ATRE 10	38
Gambar 4.20 Hasil model ATRE 11	38
Gambar 4.21 Hasil model ATRE 12	38
Gambar 4.22 Daerah retak pada beton hasil ekspeimen.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat.....	43
Lampiran 2	Analisis Gradasi Agregat Halus	44
Lampiran 3	Analisis Gradasi Agregat Kasar	45
Lampiran 4	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	46
Lampiran 5	Formulir Perancangan Campuran Beton.....	47
Lampiran 6	Form Pengujian Tekan	51
Lampiran 7	Tabulasi Hasil Eksperimen	53
Lampiran 8	Hasil Tegangan Regangan Eksperimen	54
Lampiran 9	Data Input Material Dari Eksperimen.....	68
Lampiran 10	Input Data Material Teoritis.....	79
Lampiran 11	Kalibrasi dari <i>True Strain</i> dan <i>Stress</i> ke <i>Engineering Stress</i>	83
Lampiran 12	Hasil Pemodelan dari Data Eksperimental.....	84
Lampiran 13	Hasil Pemodelan dari Data Teoritis	86

RINGKASAN

Kamiliyana Puteri Astuti, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Bulan Januari 2018, *Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan dan Regangan Beton*, Dosen Pembimbing : Ming Narto Wijaya dan Desy Setyowulan.

Beton merupakan material utama yang banyak digunakan untuk berbagai struktur bangunan. Material penyusun beton bersifat elasto-plastis dimana kuat tekan maksimum terletak pada saat regangan mencapai $\pm 0,002$ (Dipohusodo, 1999). Cara yang umum untuk mendapatkan data yang valid yakni dengan melakukan simulasi di laboratorium dengan frekuensi percobaan tertentu dan h. Hasil dari eksperimen pun menjadi informasi dasar untuk pemodelan pada elemen hingga. Namun, hal ini membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit..

Di lain sisi, meningkatnya penggunaan komputer sebagai sarana untuk merencanakan dan mensimulasikan suatu bentuk struktur menjadi urgensi tersendiri untuk menemukan suatu solusii dari suatu permasalahan. Maka dari itu, pendekatan yang baik untuk permasalahan kompleks dari material beton adalah dengan menggunakan elemen hingga, yakni ABAQUS. Pada skripsi ini, beton berdiameter 150mm dan panjang 300mm dengan f_c' sebesar 20, 25, 30, dan 35 MPa berbentuk silinder dan kubus dimodelkan sebagai denganpendekatan dari model ini menggunakan pendekatan gabungan sifat material yang elastis dan plastis. Kemudian, validasi dari model ini akan dibandingkan dengan hasil eksperimen pada percobaan sebelumnyaHasil dari pemodelan numerik dengna ABAQUS 6.13 trial mendekati hasil eksperimen.

Kata kunci : Distribusi Tegangan-Regangan, ABAQUS

SUMMARY

Kamiliyana Puteri Astuti, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2017, Numerical and Experimental Study of The Concrete Stress and Strain Distribution, Academical Supervisor: Ming Narto Wijaya dan Desy Setyowulan.*

Concrete is an important building material which is widely used in many engineering structures. It is consisting of constituents material which has elasto-plastic behaviour and the maximum stress (f_c') is reached when strain is about 0,002 (Dipohusodo,1990). The common way to get a reliable data is by doing a simulation with a certain frequencyekuensiin of laboratory and the. The result of experiment provides a basic information onfor modelling a finite element. But, it cost a lot of money and time.

On the other side, increasing use of computers as a tool to plan and simulate a form of structure became an urgency to be solved. So that, a good approach to solve this complex material of concrete is using a finite element, namely Abaqus 6.13 trial. In this thesis, a 150mm in diameter and 300mm in length of cylindrical plain concrete with f_c' 20, 25, 30, and 35 MPa modeled as an approach to validate this modelsoftware which based on finite element method. The numerical result from ABAQUS 6.13 trial are aprroching the experimental result. validation with this model will be compared with the previous experiment.

Keywords : The stress and strain distribution, ABAQUS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini, banyak peneliti melakukan riset yang berfokus pada simulasi perilaku beton (Setyowulan et.al, 2014). Hal ini bertujuan untuk menemukan kondisi krisis saat beton tersebut dikenakan beban. Salah satu aspek yang penting untuk dievaluasi pada struktur beton adalah distribusi tegangan dan regangan. Distribusi tegangan dan regangan sangat penting untuk menentukan perambatan retak yang terjadi dan deformasi pada beton tersebut (Qi et.al, 2017). Dengan mengetahui distribusi tegangan yang terjadi, peneliti dapat mengetahui daerah kritis yang perlu diinspeksi ketika terjadi kegagalan (Setyowulan et.al, 2014).

Namun pada umumnya, untuk mendapatkan data yang valid, simulasi tersebut diuji di sebuah laboratorium dengan frekuensi percobaan yang besar, juga tenaga yang tidak sedikit, biaya yang besar, waktu yang lama, serta pelaksanaan yang sulit. Untuk itu dibutuhkan suatu pendekatan yang tidak membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan yakni pendekatan simulasi metode numerik yaitu dengan metode elemen hingga (*finite element method*).

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang meliputi bentuk geometri, pembebanan yang sulit maupun material penyusun yang kompleks (Logan, 2007). Beton memiliki material penyusun yang kompleks karena merupakan material yang bersifat elasto-plastis.

Pemodelan numerik yang berbasis metode elemen hingga yang akan digunakan yakni *software* ABAQUS 6.13 trial. Pemilihan *software* ABAQUS didasari oleh kelebihanannya yang dapat memasukkan hasil data eksperimen ke dalam tabel *properties* material sebagai input data material beton dengan lebih akurat, serta telah banyak digunakan oleh para *engineer* dari berbagai macam industri, seperti perusahaan pesawat terbang, automotif, perminyakan, mikroelektronik, dan juga laboratorium penelitian nasional pada berbagai universitas di dunia (ABAQUS tutorial; 2007).

Hasil yang akan didapatkan dengan *software* berbasis *finite element* ini akan divalidasi dengan hasil eksperimental dari 12 benda uji yang dilakukan di

Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2017.

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan ini dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cara pemodelan numerik dengan *software* berbasis metode elemen hingga pada material beton dan mengetahui keakuratan dari metode numerik ini jika dibandingkan dengan hasil eksperimental.

1.3. Rumusan Masalah

Dari latar belakang pada poin 1.1 dapat ditarik beberapa rumusan masalah, yakni

1. Berapa besar tegangan dan regangan hasil uji eksperimental pada setiap mutu yang direncanakan?
2. Bagaimana hasil distribusi tegangan-regangan dari hasil simulasi dengan *software* ABAQUS 6.13 *trial*?
3. Bagaimana hasil validasi analisis numerik jika dibandingkan dengan uji eksperimental?

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan membatasi lingkup dari rumusan masalah, yakni

1. Satuan SI (Standar Internasional) akan digunakan dalam seluruh perhitungan.
2. Pemodelan material secara numerik akan disimulasikan menggunakan *software* ABAQUS 6.13.1 *trial*.
3. Benda uji yang digunakan memiliki variasi mutu 20 Mpa, 25 Mpa, 30 Mpa, 35 Mpa.
4. Data uji eksperimental yang digunakan sebagai pembanding diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis (*hasil terlampir*).
5. Beban yang dikenakan adalah beban uniaksial serta dilakukan secara monoatonik.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yakni

1. Untuk mengetahui besar tegangan dan regangan hasil uji eksperimental pada setiap mutu yang direncanakan.
2. Untuk mengetahui hasil distribusi tegangan-regangan dari hasil simulasi dengan *software* ABAQUS 6.13 *trial*.
3. Untuk mendapatkan hasil perbandingan analisis numerik dengan uji eksperimental.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin didapatkan, yakni

1. Bagi peneliti, penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu media pembelajaran mengenai *software* berbasis elemen hingga yang sudah banyak digunakan pada beberapa industri, serta dapat digunakan untuk mengetahui perilaku material beton yang dilihat dari persebaran tegangan-regangannya.
2. Bagi masyarakat, penelitian ini dapat dijadikan sebagai alternatif pengujian kekuatan beton yang tidak memerlukan tenaga yang besar, biaya yang besar, waktu yang lama, serta pelaksanaan yang sulit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Material penyusun beton terdiri dari bahan-bahan agregat halus dan kasar yakni pasir, batu pecah, dengan bahan perekat semen, dan air untuk keperluan reaksi hidrasi selama proses pengerasan dan perawatan beton. Nilai kekuatan seta *durability* bergantung pada nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya (Dipohusodo,1999).

Perilaku komponen beton dapat diketahui dengan melihat respon pada waktu menahan gaya aksial, lenturan, gaya geser, ataupun gabungan dari gaya-gaya tersebut (Dipohusodo,1999). Ketika beton telah mengeras, beton memiliki sifat mekanis yakni kekuatan tekan dan kekuatan tarik (Nawy,1990). Hal ini mengakibatkan material mengalami tegangan dan berubah bentuk dan ukuran (deformasi).

2.2. Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Apabila terjadi tegangan secara merata pada luas tertentu dan tegangan juga bernilai konstan. Maka menurut Singer, 1995, dalam Hastomo, 2009, adalah

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2-1)$$

Dimana P= m.g

Dengan : P = beban yang diberikan (ton)

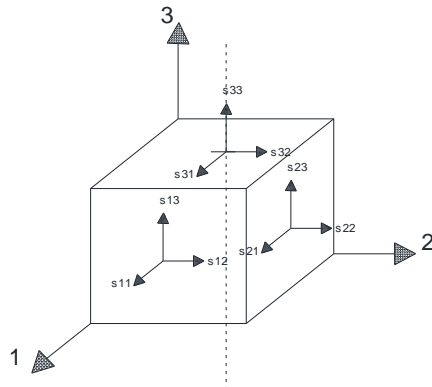
A = luas tampang melintang (mm²)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan dan dianggap negatif bila menimbulkan penekanan terhadap bahan. Namun, nilai kuat tarik beton relatif rendah, maka pada umumnya yang diperhitungkan hanya gaya yang bekerja dengan baik di daerah gaya tekan pada penampangnya, dan hubungan tegangan-regangan yang timbul

akibat gaya tekan yang diberikan dijadikan sebagai dasar pertimbangan untuk mendapatkan nilai tegangan f_c' maksimum (Dipohusodo, 1999).

2.2.1. Komponen tegangan

Bila kita bekerja dalam sistem sumbu kartesian, maka tegangannya adalah seperti gambar 2.5. Kubus tersebut memiliki 3 buah tegangan pada setiap permukaannya. Disetiap permukaan terdapat satu tegangan aksial (searah dengan sumbu) dan dua tegangan geser.



Gambar 2.1 Komponen tegangan yang bekerja pada suatu titik

Sumber : Khennane (2013, p.136)

2.3. Regangan

Salah satu akibat dari sifat mekanis yang dimiliki bahan adalah terjadinya deformasi. Deformasi akan terjadi ketika sebuah benda yang terkena beban luar yang tidak terlalu besar (kurang dari kekuatan luluhnya), deformasi tersebut akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepas. Hal ini dikarenakan sifat elastisitas bahan. Sebaliknya, bahan akan mengalami deformasi permanen apabila beban yang dikenakan melebihi kekuatan luluh bahan. Hal ini dikarenakan sifat plastisitas bahan (Hastomo, 2009).

Deformasi atau regangan secara lengkap, regangan dapat didefinisikan sebagai perubahan ukuran dari panjang awal sebagai hasil dari gaya tarik maupun tekan yang dikenakan pada suatu bahan. (Hastomo, 2009).

Menurut Singer (1995) dalam Hastomo (2009) untuk memperoleh suatu regangan dapat membagi perpanjangan (ΔL) dengan panjang material mula-mula, dengan rumus sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

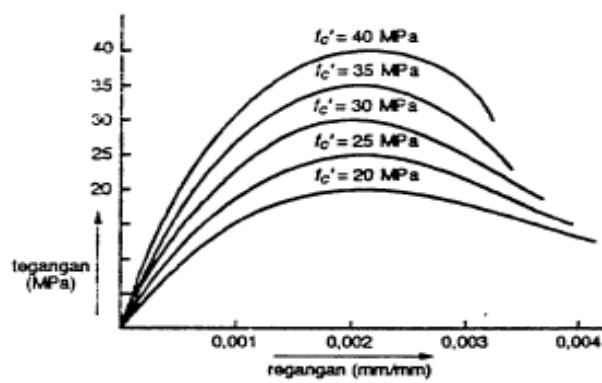
L = panjang semula (mm)

f_c' pada persamaan diatas merupakan tegangan tekan tertinggi yang dicapai pada umur 28 hari akibat beban tekan selama masa percobaan. Tegangan yang dicapai bukanlah tegangan maksimum saat benda uji hancur, melainkan tegangan maksimum saat regangan beton mencapai $\pm 0,002$ (Dipohusodo, 1999).

2.4. Hubungan tegangan-regangan

2.4.1. Kurva Tegangan-Regangan Beton

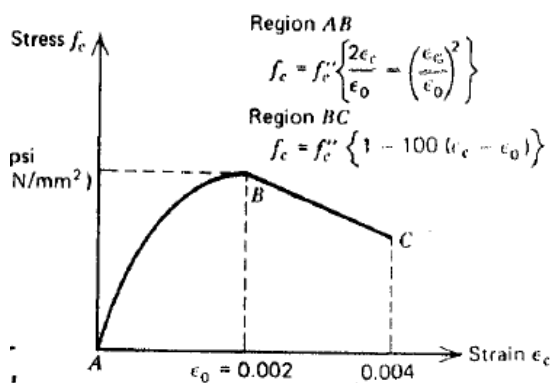
PBI 1971 melakukan percobaan kuat tekan benda uji beton pada umur 28 hari dengan berbagai macam *mix design* dan didapatkan hasil kurva tegangan-regangannya sebagai berikut (Dipohusodo, 1999).



Gambar 2.2 Kurva hubungan tegangan-regangan

Sumber : Dipohusodo (1999, p.8)

Dari gambar 2.1 diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai tegangan f_c' mencapai nilai maksimum saat regangan mencapai $\pm 0,002$ dan akan terus menurun sampai benda uji hancur pada nilai 0,003-0,005, serta kemiringan awal kurva akan bervariasi bergantung pada nilai kuat betonnya (Dipohusodo, 1999). Untuk itu diperlukan idealisasi dari kurva 2.1 agar grafik dapat dibuat dengan baik.



Gambar 2.3 Idealisasi kurva tegangan-regangan beton

Sumber : Park, R dan Paulay, T (1975, p.13)

Pada gambar 2.2 dan 2.3 pula dapat dijelaskan pada daerah AB dan BC memiliki rumus yang berbeda, serta bagaimana hubungan kurva tegangan pada silinder dengan pembebanan uniaksial secara monoatomik yang ditambahkan beban bertahap hingga mencapai keruntuhan. Pada 40% f_c' pertama kurva ini pada umumnya dianggap linear. Namun setelah mendekati 70% f_c' tegangan hancur, sebagian besar materialnya kehilangan kekakuannya, sehingga dapat dianggap sebagai non-linear (Nawy, 1990).

Jika dilihat pada beban atas, retak searah dengan beban akan sangat terlihat pada hampir semua silinder beton yang diuji, kecuali jika kekuatannya sangat rendah (Nawy, 1990). Dengan demikian, dapat ditarik beberapa kesimpulan pada hubungan tegangan-regangan yang tersaji pada gambar 2.1, yakni (1) Semakin tinggi f_c' , maka semakin rendah regangan hancurnya; (2) Semakin tinggi f_c' , maka semakin panjang bagian linear ; (3) Nilai daktilitas akan tereduksi apabila f_c' beton bertambah (Irwanto, 2010).

Perilaku ketidaklinearan beton ini juga diperkuat oleh teori elastisitas, kemiringan kurva yang bervariasi menunjukkan bahwa nilai regangan tidak berbanding lurus dengan nilai tegangannya, sehingga mengindikasikan bahwa material penyusun beton bersifat elasto-plastis. Maksud dari sifat tersebut adalah ketika beton diberi pembebanan, maka akan terjadi deformasi permanen (Dipohusodo, 1999). Perilaku elasto-plastis ini terjadi ketika struktur menerima beban P_m yang lebih besar dari P_s maka, beton akan berperilaku elasto-plastis. Pada gambar 2.2 menunjukkan diagram tegangan pada suatu struktur akibat pemberian beban P_m .

2.4.2. Kurva true stress dan true strain

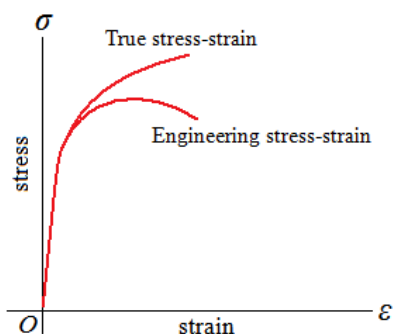
Menurut G Sell, 1979, pada hampir seluruh software berbasis elemen hingga, data relevan yang digunakan sebagai input data adalah nilai *true strain* dan *true stress*. Hal ini karena *true strain* mengkorelasikan perubahan yang saat ini terjadi dengan perubahan sebelumnya, bukan dengan pada keadaan semula. Sehingga dengan asumsi bahwa deformasi yang terjadi pada *specimen* bersifat homogen atau hampir homogen, digunakan persamaan 2-3 dan 2-4 untuk mempermudah menentukan *homogeneous stress* dan *homogeneous strain*.

$$\sigma_{true} = \frac{P}{A} = \left(\frac{P}{A_o} \times \frac{L}{L_o} \right) = \sigma_{eng} (1 + \varepsilon_{eng}) \dots \dots \dots (2-3)$$

$$\varepsilon_{true} = \ln \left(\frac{L}{L_o} \right) = \ln(1 + \varepsilon_{eng}) \dots \dots \dots (2-4)$$

Dimana : ε_{eng} = regangan dari hasil eksperimen

σ_{eng} = tegangan dari hasil eksperimen



Gambar 2.4 Kurva antara *Engineering* dan *True Stress-Strain*

Sumber : www.engineeringarchives.com

2.5. Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan (*arithmetic*). Berbagai permasalahan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dapat digambarkan dalam bentuk persamaan matematik. Apabila persamaan tersebut mempunyai bentuk sederhana, penyelesaiannya dapat dilakukan secara analitis. Tetapi pada umumnya bentuk persamaan sulit diselesaikan secara analitis, sehingga penyelesaiannya dilakukan secara numeris (Triatmodjo, 2002).

Nilai yang didapatkan merupakan nilai pendekatan, maka ada kemungkinan terjadi suatu kesalahan terhadap nilai eksaknya. Nilai kesalahan yang terjadi harus cukup kecil terhadap tingkat kesalahan yang ditetapkan.

2.6. Analisis Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan keteknikan dan fisika-matematik, termasuk juga analisis struktural, perpindahan panas, mekanika fluida, dan potensi elektromagnetik. Namun ketika permasalahan yang dibahas telah masuk ke suatu hal yang lebih kompleks seperti bentuk geometri dan pembebanan yang sulit, serta material penyusun yang heterogen maka penyelesaiannya sulit dikerjakan dalam analisis matematik. Sehingga, solusinya bukan lagi menggunakan turunan parsial ataupun persamaan umum, melainkan menggunakan persamaan aljabar. Sedangkan pada proses pemodelannya, kontinum dibagi menjadi unit-unit yang lebih kecil (*finite element*) pada suatu sistem keseimbangan dengan dua atau lebih titik dan garis batas maupun permukaan batas yang biasa disebut *diskretisasi* (Logan, 2007).

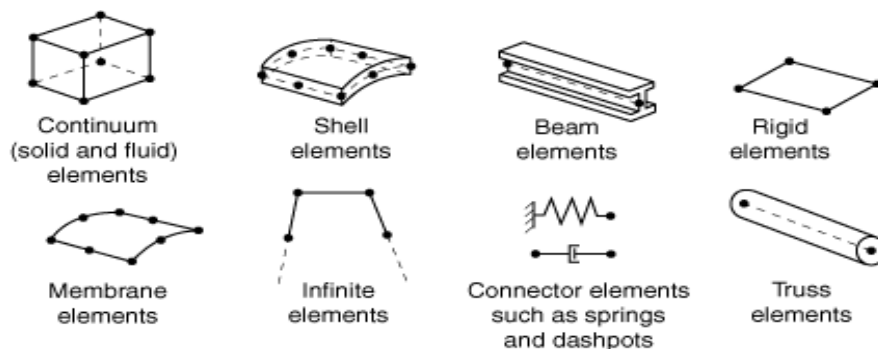
Tujuan utama dari proses diskretisasi/pembagian ini adalah untuk menyederhanakan suatu permasalahan dengan derajat kebebasan berhingga. Dan apabila prosesnya telah disederhanakan, maka akan dapat diperoleh suatu nilai pendekatan (Logan, 2007).

Satu dasawarsa terakhir dengan kemajuan dalam komputasi teknik dan kemampuan komputasi dari komputer versi terbaru telah membawa kemajuan yang lebih baik dalam mempelajari perilaku beton. Namun perilaku beton bisa berupa linear, lalu kemudian pada waktu tertentu berubah menjadi nonlinear, perilaku ini membuat adanya batasan dalam pengaplikasian metode elemen hingga. Beberapa peneliti telah mendokumentasikan tentang analisis perilaku non-linear dari beton itu sendiri. Salah satu software komersil yang tersedia untuk menganalisis perilaku tersebut adalah ABAQUS (Chaudhari, 2012).

Pada pemodelan secara umum, hal pertama yang perlu dilakukan adalah mengerti perilaku fisik model dan juga perilaku fisik berbagai elemen yang dapat digunakan. Lalu memilih elemen yang mendekati dengan yang sebenarnya (Logan, 2007). Sedangkan pemodelan pada ABAQUS pun kita perlu mengetahui perilaku fisik pada material yang akan dimodelkan. Untuk memodelkan dengan software ABAQUS dengan menggunakan analisis tegangan dan regangan, perlu diketahui terlebih dahulu prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam software tersebut.

2.2.1. Tipe Elemen

Karakteristik suatu elemen ditentukan oleh 5 aspek utama, yakni kelompok elemen, derajat kebebasan, jumlah titik, rumus yang digunakan, dan integrasi yang digunakan (Abaqus/CAE User's Manual 6.13). Elemen dikelompokkan berdasarkan bentuknya. Terdapat berbagai bentuk seperti yang terlihat pada gambar 2. 2. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa elemen berbentuk solid maupun cair termasuk kelompok *continuum*.

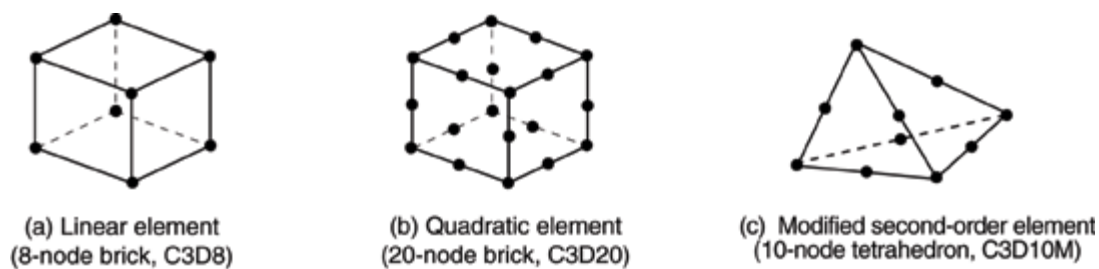


Gambar 2.5 Kelompok elemen yang sering digunakan

Sumber : Abaqus/CAE User's Manual 6.13

Derajat kebebasan atau *degree of freedom* (DoF) merupakan variabel utama yang dihitung saat melakukan analisis. Untuk analisis tegangan/perpindahan, derajat kebebasan adalah translasi, dan untuk shell, pipa, elemen balok, derajat kebebasan adalah rotasi pada setiap titik. Sedangkan untuk simulasi transfer panas, derajat kebebasan adalah suhu di setiap node; untuk sebuah analisis yang menggabungkan thermal-tegangan, derajat kebebasan ada di samping perpindahan derajat kebebasan di setiap node. Analisis transfer panas dan analisis gabungan thermal-tegangan memerlukan penggunaan unsur unsur yang berbeda daripada analisis tegangan, karena derajat kebebasannya tidak sama (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).

Perpindahan ataupun derajat kebebasan lainnya dihitung pada tiap titik suatu elemen. Pada setiap titik lain dalam elemen, perpindahan didapatkan dengan menginterpolasi dari perpindahan titik. Biasanya tingkat interpolasi (orde 1, 2, dst) ditentukan dari banyaknya jumlah titik suatu elemen. Elemen yang hanya memiliki titik pada akhir garis (8 titik) pada gambar 2.2 menggunakan orde 1 (linear elemen).



Gambar 2.6 Jumlah titik pada elemen

Sumber : Abaqus/CAE User's Manual 6.13

Rumus yang digunakan pada hampir seluruh elemen tegangan/*displacement* di ABAQUS berdasarkan rumus Lagrangian. Sedangkan integrasi yang dilakukan dapat sepenuhnya (*fully-integration*), maupun tidak sepenuhnya (*reduced-integration*) (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).

Elemen continuum akan lebih akurat jika menggunakan *quadrilaterals* ataupun *hexahedra*, serta dapat diaplikasikan pada analisis *linear* maupun *nonlinear* yang menyangkut kontak, plastisitas, maupun deformasi (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).

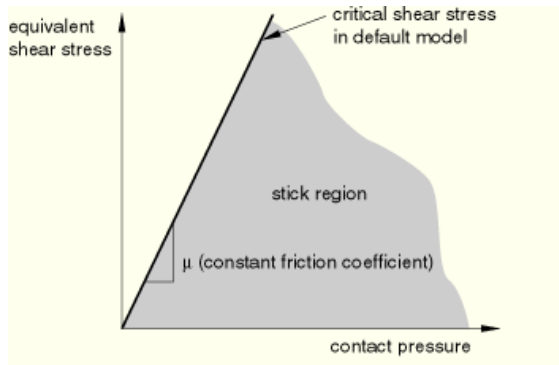
2.2.2. Koefisien gesek

Pada pengujian tekan, sampel beton ditempatkan pada alat tekan dengan lempeng baja pada bagian atas dan bawahnya. Sehingga diperlukan adanya kontak pada 2 bahan yang

berbeda, hal ini menimbulkan adanya koefisien gesek. Pada ABAQUS, pemodelan gesekan didasari oleh gesekan Coulomb dasar.

Konsep dasar pemodelan gesekan Coulomb adalah menghubungkan tegangan geser maksimum yang diperbolehkan pada tekanan kontak antarmuka dengan badan yang dikontakkan. Pada bentuk dasar dari model ini, dua permukaan dapat membawa tegangan geser pada besaran tertentu sebelum terjadinya geser antar dua permukaan yang dikontakkan (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).

Model dasar gesekan mengasumsikan bahwa μ (koefisien gesek) adalah sama ke segala arah (material isotropik). Untuk simulasi tiga dimensi terdapat dua komponen tegangan geser, yakni τ_1 dan τ_2 . Dimana τ_1 dan τ_2 bekerja pada arah normal dan diantara τ_1 dan τ_2 bekerja pada arah tangensial (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).



Gambar 2.7 Daerah slip pada model gesekan Coulomb

Sumber : Abaqus/CAE User's Manual 6.13

Coefficient friction yang digunakan adalah 0,2. Hal ini dikarenakan jika memasukkan koefisien yang lebih besar dari 0,2, maka ABAQUS akan otomatis menggunakan skema solusi matriks yang tidak simetris. Dan jika hal tersebut terjadi, maka iterasi yang dilakukan oleh sistem akan jauh lebih berat dan membutuhkan waktu lebih lama, serta mempengaruhi tingkat konvergensi (Abaqus/CAE User's Manual 6.13).

2.2.3. Tegangan *von Mises*

Von Mises merupakan bentuk lain dari variasi tegangan tensor. ABAQUS secara *default* akan membuat kontur dari tegangan *von Mises*. Kontur ini sangat berguna ketika material yang diuji mengalami leleh. Dan juga dapat memungkinkan untuk menggambarkan suatu material yang belum mencapai tegangan leleh. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_f \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana :

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Principle Stresses

σ_f = Flow Stress

2.2.4. Parameter-Parameter pada ABAQUS

2.6.4.1. Modulus Elastisitas

Analisis menurut elastisitas ini dilakukan untuk mewakili perilaku *linear* pada material isotropik beton. Sehingga parameter yang dibutuhkan adalah modulus elastisitas dan *poisson's ratio*. Menurut Park dan Paul (1975), $E_c = 4730\sqrt{f_c'}$. Sedangkan menurut Murdock dan Brook 1991 dalam Sutrisno 2009, modulus elastisitas (E) merupakan perbandingan dari tegangan yang bekerja pada sebuah benda dengan regangan yang dihasilkan. Modulus yang sebenarnya atau modulus pada suatu waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1. Sehingga nilainya pun akan beragam bergantung pada nilai tegangan dan regangannya.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana, σ = tegangan (Mpa)

ε = regangan

2.6.4.2. Berat Isi (Density)

Nilai berat isi beton normal 2400 kg/cm³. Sedangkan beton ringan jika nilai berat isinya kurang dari 1990 kg/cm³ (SNI 03-2847-2002). Atau bisa dihitung dengan rumus

$$w = \frac{\text{berat beton}}{V} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana, berat beton dalam ton

V = volume beton (mm³)

2.6.4.3. Poisson's ratio

Sedangkan poisson's ratio (ν) merupakan perbandingan antara regangan transversal dengan regangan axial, dengan nilai range 0,15-0,25 (Gere, Timoshenko, 1997). Hal ini dikarenakan saat beton mengalami desakan, maka akan memendek pada arah memanjang atau aksial dan mengalami pengembangan arah melebar atau transversal. Sehingga nilai poisson ratio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-7.

$$\nu = \frac{\varepsilon_{trans}}{\varepsilon_{axial}} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \dots \dots \dots (2-7)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Uji Ekperimental

3.1.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan Februari 2017 sampai selesai.

3.1.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan untuk mencapai tujuan penelitian, meliputi:

a. *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini adalah semen merk Semen Gresik kemasan 40 kg. Sebelum penelitian, kemasan dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen di dalamnya.

b. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Agregat diperoleh dari daerah Malang dengan melalui tahap pengujian sebelum digunakan sebagai benda uji. Tahap pengujian meliputi gradasi, kadar air, dan berat jenis.

c. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.1.3 Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji pada akhirnya. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

a. Saringan

Penelitian ini menggunakan saringan No. 1,5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir)

b. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kubus. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

c. Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen.

d. Cetakan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm. Cetakan terbuat dari baja yang dapat dibongkar pasang.

e. Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

f. Alat Ekstensometer

Alat yang digunakan untuk mengukur regangan yang terjadi pada saat pembebanan dilakukan

g. Strain Gauge

Alat yang digunakan untuk mengukur regangan aksial dan transversal yang terjadi saat pembebanan dilakukan

h. Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

3.1.4 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat benda uji silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Masing masing benda jenis benda uji diberikan variasi pada mutu kuat tekan betonnya. Benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Rincian jumlah benda uji terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1

Rancangan Penelitian Beton

Benda Uji	Variasi Kuat Tekan Beton			
	20 Mpa	25 Mpa	30 Mpa	35 MPa
Silinder	12	12	12	12

Sumber : Hasil Mix Design

Namun data yang digunakan dalam perbandingan dengan studi numerik, hanya digunakan 3 benda uji pada masing-masing nilai kuat tekan. Hal ini dikarenakan hanya 3 buah benda uji yang dipasang *strain gauge*.

Tabel 3.2

Form Pengujian Kuat Tekan

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON				
Nama	:			
Tanggal uji	:	Tanggal dibuat :		
Tempat Uji	:	Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi FT-UB		
Benda uji	:	Silinder Ukuran : 15 cm x 30 cm		
Nomor benda uji	Satuan	1	2	3
Umur benda uji	(hari)			
Diameter benda uji	(mm)			
Tinggi benda uji	(mm)			
Berat benda uji	(t)			
Volume benda uji	(mm ³)			
Berat volume	(t/mm ³)			
Beban maksimum	(N)			
Luas	(mm ²)			
$\sigma = P/A$	(Mpa)			
Kuat tekan rata-rata	(Mpa)			

Sumber : Hasil Eksperimen

3.1.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

- Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi kuat tekan beton dari benda uji.

- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah tegangan dan regangan dari hasil pengujian kuat tekan.

3.1.6 Prosedur Pengujian Laboratorium

3.1.6.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.1.6.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai mix desain tabel 3.4.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kubus.

Tabel 3.3

Mix Design Beton Normal Dengan Variasi Mutu

Mix Design	Jumlah	Jenis	Volume			
			Semen (kg)	Air (kg/m ³)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
20	12	Silinder	26.53	11.62	47.92	79.91
25	12	Silinder	13.53	5.41	20.82	38.61
30	12	Silinder	31.15	11.45	42.01	81.38
35	12	Silinder	34.11	11.44	39.82	80.61
Jumlah			105.32	39.93	150.58	280.51

Sumber : Hasil Mix Design

Tabel 3.4

Perbandingan rasio proporsi berat

Variasi Kuat Tekan (MPa)	Perbandingan Semen : air : pasir : kerikil
20	1 : 0,44 : 1,81 : 3,01
25	1 : 0,4 : 1,54 : 2,85
30	1 : 0,37 : 1,35 : 2,61
35	1 : 0,34 : 1,17 : 2,36

Sumber : Hasil Mix Design

3.1.6.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 24 jam cetakan benda uji silinder dan kubus dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Waktu perawatan benda uji disamakan setiap variasi benda uji sesuai dengan waktu pengecorannya. Pada penelitian ini perawatan beton dihentikan dua minggu (14 hari) setelah tanggal pengecoran.

3.1.6.4 Pengujian Kuat Tekan

Setelah beton berumur 28 hari, maka beton dipasang *strain gauge* dan *ekstensometer* untuk diuji tekan. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
3. Strain Gauge dipasang arah aksial dan transversal pada tengah benda uji, lalu dipasang ekstensometer.
4. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris, dan kabel pada strain gauge dihubungkan dengan strain meter. Lalu mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.

5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.



Gambar 3.1 Mesin Tekan (kiri) ; penempatan strain gauge dan ekstensometer (tengah); strain meter (kanan)

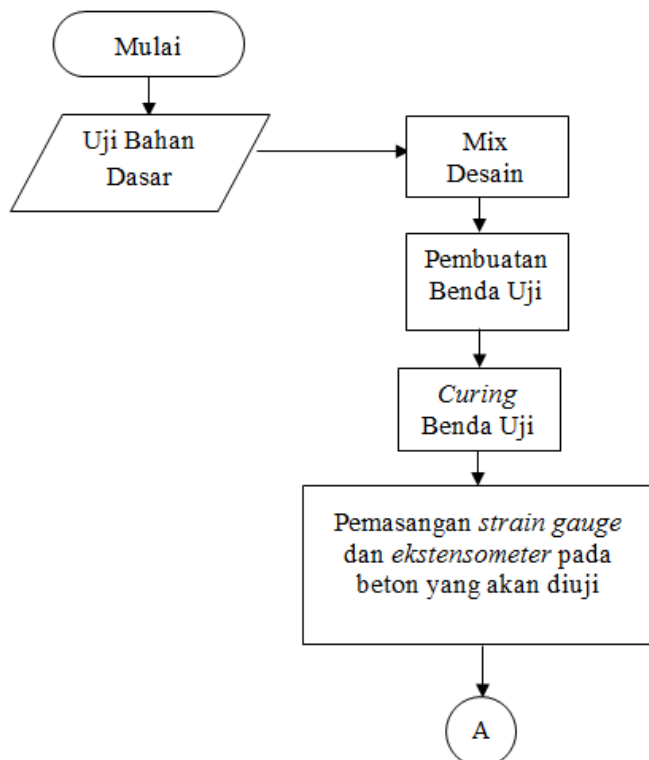
Sumber : Hasil Eksperimen

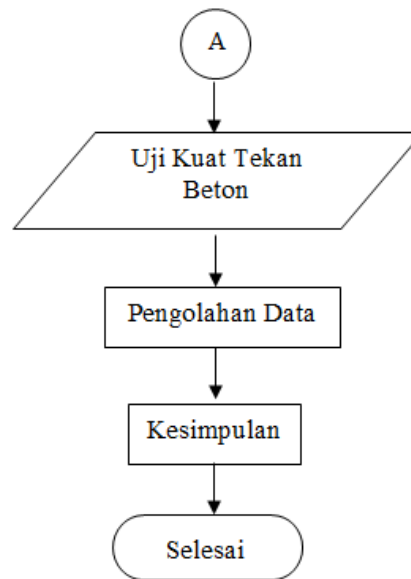
3.1.6.5 Pengolahan Data

Kesalahan relatif digunakan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan nilai kuat tekan beton yang terjadi antara pengujian dengan mesin tekan terhadap hasil menggunakan software.

$$Kr = \frac{\text{Nilai yang sebenarnya} - \text{nilai pendekatan}}{\text{nilai yang sebenarnya}} \times 100\% \dots \dots \dots (4-1)$$

3.1.6.6 Diagram Alir Penelitian





3.2 Uji Numerik

Pada penelitian kali ini digunakan *software* ABAQUS 6.13 trial. Terdapat dua macam analisis yang dapat dilakukan untuk melakukan simulasi numerik, yakni analisis linear-nonlinear dan sensitivitas *meshing*. Parameter untuk perilaku linear didapatkan dari hasil pengolahan data, sedangkan parameter untuk perilaku nonlinear didapatkan dari ABAQUS 6.13 dan nilai tegangan-regangannya didapatkan dari hasil pengolahan data. Sedangkan untuk analisis sensitivitas *meshing* dilakukan.

3.2.1 Prosedur Pemodelan Numerik

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam pemodelan numerik ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

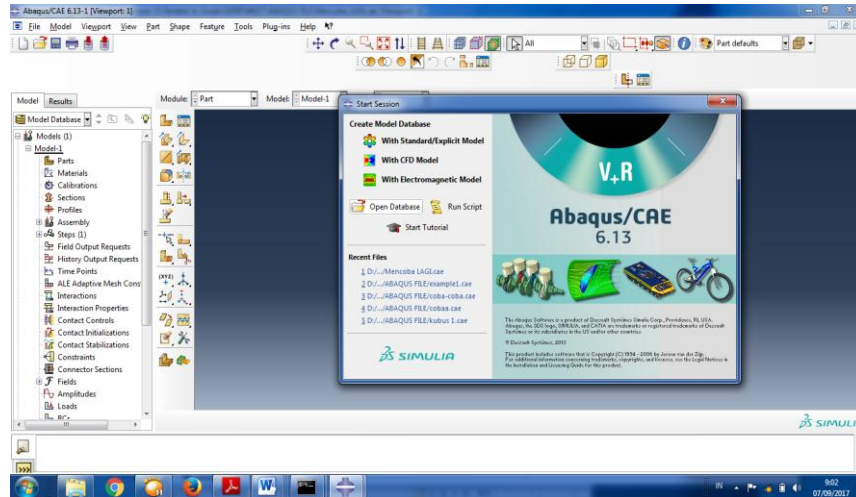
Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai material beton, perilaku beton saat diberi pembebanan, lalu hubungan tegangan dan regangan untuk mengetahui kuat tekan dari beton tersebut.

2. Memodelkan dengan program ABAQUS

Fasilitas *software* ABAQUS 6.13 trial bisa langsung digunakan tanpa perlu bantuan dari *software* lain. Berikut ini adalah cara menggunakan ABAQUS 6.13 trial.

A. Membuka menu ABAQUS 6.13 trial

Untuk masuk ke program ABAQUS CAE bisa dipilih *with standart/explicit model*. Lalu pilih *set work directory* untuk memilih tempat penyimpanan data CAE. Lalu pilih *save* pada menu File untuk menyimpang data awal.

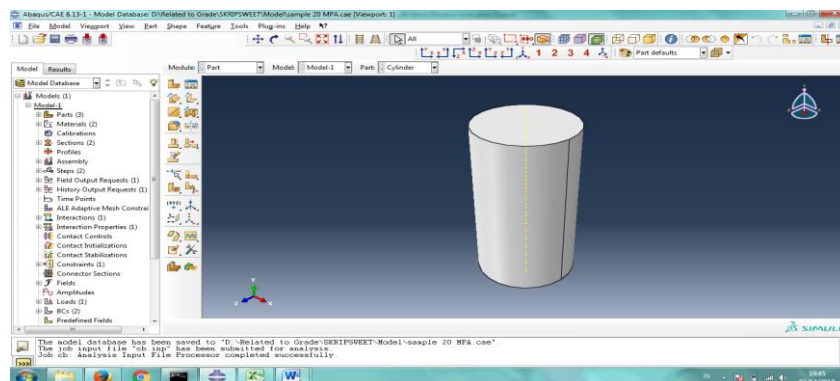


Gambar 3.2 Tampilan awal

Sumber : Hasil Numerik

B. Membuat geometri

Pada *part* modul dapat membuat dimensi yang sesuai dengan rancangan. klik *create part*, pilih *3D>deformable>solid>revolution>continue* untuk membuat model silinder. Dan pilih *3D>discrete rigid>shell>revolution>continue* untuk membuat model plat atas dan bawah. Pilih bentuk persegi panjang untuk *part* silinder, lalu diputar 360° . Kemudian masukkan koordinat awal (0,0) dan koordinat akhir, yakni x untuk radius dan y untuk tinggi specimen dalam satuan mm. Sedangkan untuk *part* plat atas dan bawah pilih bentuk garis dengan memasukkan koordinat x nilai yang lebih besar dari diameter silinder.

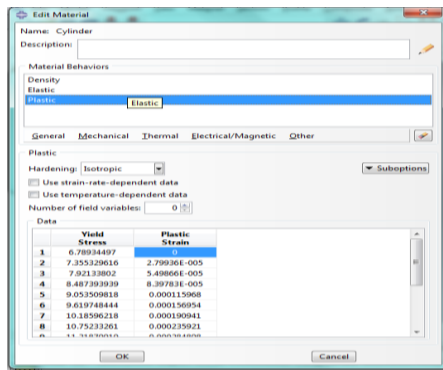


Gambar 3.3 Tampilan pembuatan geometri

Sumber : Hasil Numerik

C. Memasukkan data material

Beton memiliki dua perilaku, yakni *linear* dan *nonlinear*, maka perlu dua material behavior yang dapat mewakili. Pada *property* modul, pilih *create material*. Pada kotak tersebut pilih opsi *mechanical>elastic*, kemudian isi nilai E dan poisson rasionya. Lalu pilih lagi *mechanical>plastic*, kemudian isi parameter yang diminta. Lalu pilih *density* untuk memasukkan nilai berat isi betonnya.



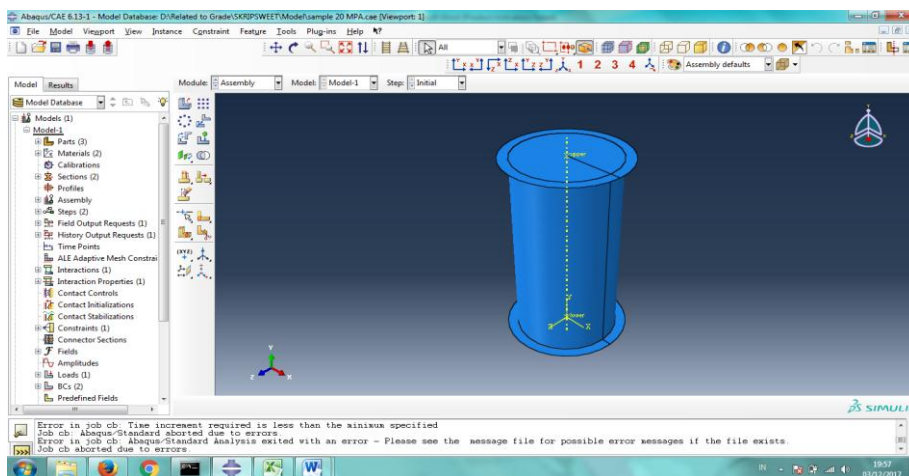
Gambar 3.4 Tampilan kotak paramater material

Sumber : Hasil Numerik

Lalu klik *section* pada kotak model sebelah kiri. Pilih *solid homogeneous*, pilih *continue*. Lalu pada *edit section* langsung pilih *ok*. Proses selanjutnya pilih *edit section assignment>pilih region* yang dibuat sebelumnya>*ok*. Sedangkan untuk plat perlu dilakukan *assign mass inertia*, lalu diberikan *reference point* pada menu *tool*.

D. Assembly Module

Kemudian untuk mengubah letak model maupun sumbu klik *assembly* untuk membuat *instance*. Pilih *translate instance>pilih reference point* yang diinginkan>*ok*.

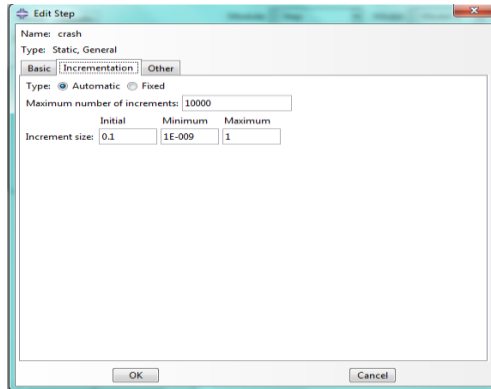


Gambar 3.5 Tampilan model yang telah di assembly

Sumber : Hasil Numerik

E. Step Module

Step yang digunakan adalah default dari ABAQUS itu sendiri, namun pada *increment size* pada *initial* diganti menjadi 0,1. Sedangkan *minimum*, dan *maximum field* tidak berubah.

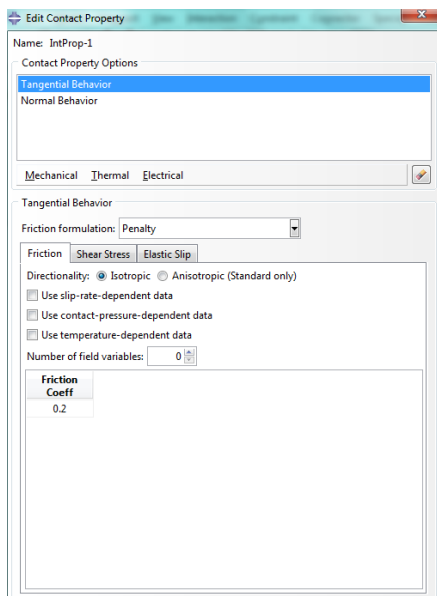


Gambar 3.6 Tampilan Step module

Sumber : Hasil Numerik

F. Interaction Module

Karena terdapat dua elemen yang berbeda, yakni *deformable surface* dan *rigid surface*, maka digunakan *general contact*, yakni *surface to surface contact*. Lalu untuk menentukan contact apa yang terjadi antara kedua permukaan tersebut, digunakan *normal behaviour* dan *tangential behaviour* dengan *coefficient friction* yang digunakan adalah 0,2.

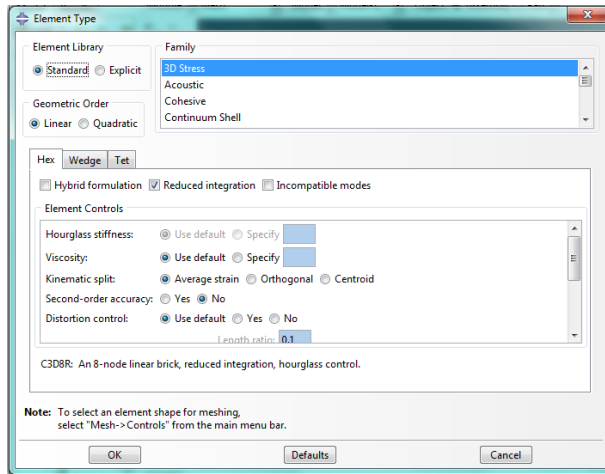


Gambar 3.7 Tampilan interaction module

Sumber : Hasil Numerik

G. Diskretisasi elemen

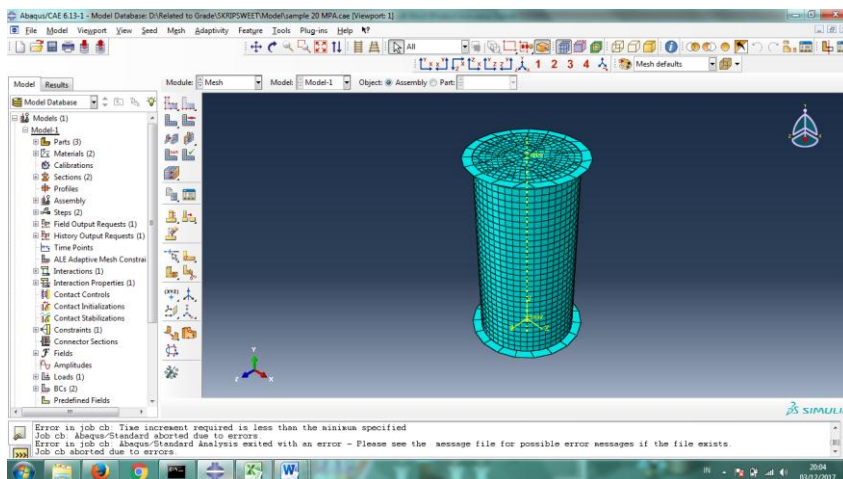
Tipe elemen yang digunakan adalah C3D8R (*An 8-node linear brick, reduced integration, hourglass control*) untuk silinder dan R3D4 (*Rigid element, 3D, 4 node*) untuk plat atas dan bawah.



Gambar 3.8 Tampilan *Element type*

Sumber : Hasil Numerik

Sedangkan untuk memilih bentuk meshing dilakukan dengan cara memilih *seed part* > isi *approximate global size* dengan angka 10, jika ingin membagi elemen menjadi kubus-kubus 10mmx10mm > apply. Kemudian pilih *mesh part* > *continue*.

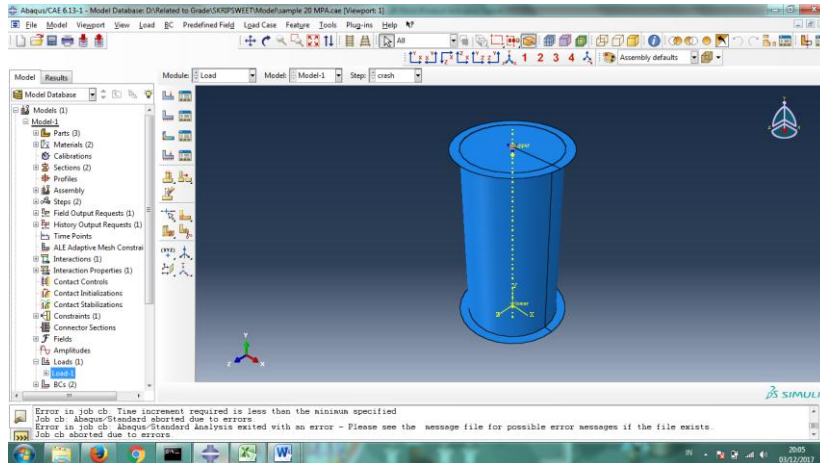


Gambar 3.9 Tampilan pembuatan *meshing*

Sumber : Hasil Numerik

H. Memberikan pembebanan

Module load, pilih *create load>mechanical>concentraed force>continue*. Pilih titik beban di specimen, pilih *done*. Lalu pada kotak *edit load*, isi $CF1 = 0$, $CF2 = -$ beban maksimum hasil pengujian, dan $CF3 = 0$.



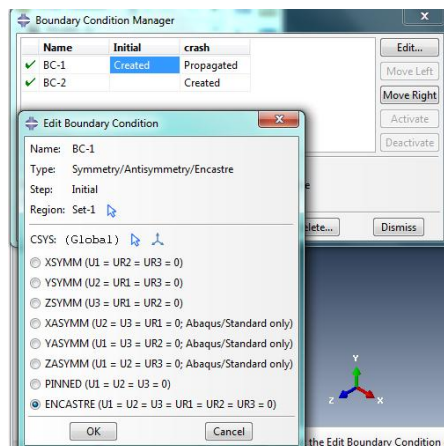
Gambar 3.10 Tampilan pemberian beban

Sumber : Hasil Numerik

I. Menentukan kondisi batas

Untuk menentukan *boundary condition*, pilih *create bondary condition>mechanical>symetry/antisymmetry/encastre>continue*. Pilih *reference point* pada *region* plat bagian bawah, lalu pilih *done*. Kemudian, pilih *encastre>ok*.

Sedangkan untuk kondisi batas pada plat bagian atas dipilih *create bondary condition>mechanical>displacement/rotation>continue*. Pilih *reference point* pada *region* plat bagian atas, lalu pilih *done*.

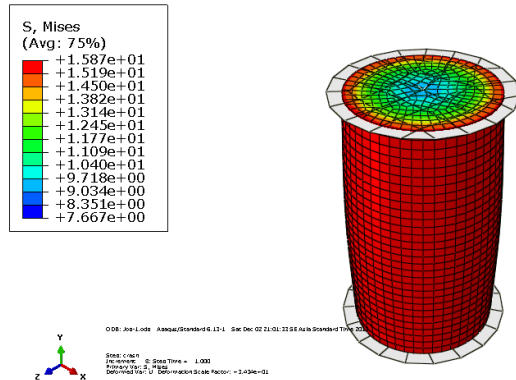


Gambar 3.11 Tampilan pemberian kondisi batas

Sumber : Hasil Numerik

J. Analisis

Pilih *job* pada *module*, *create job>ok>submit*. Tunggu proses *runningnya*, setelah selesai maka akan muncul warna yang berbeda pada specimen yang menunjukkan perbedaan tegangan.



Gambar 3.12 Tampilan akhir

Sumber : Hasil Numerik

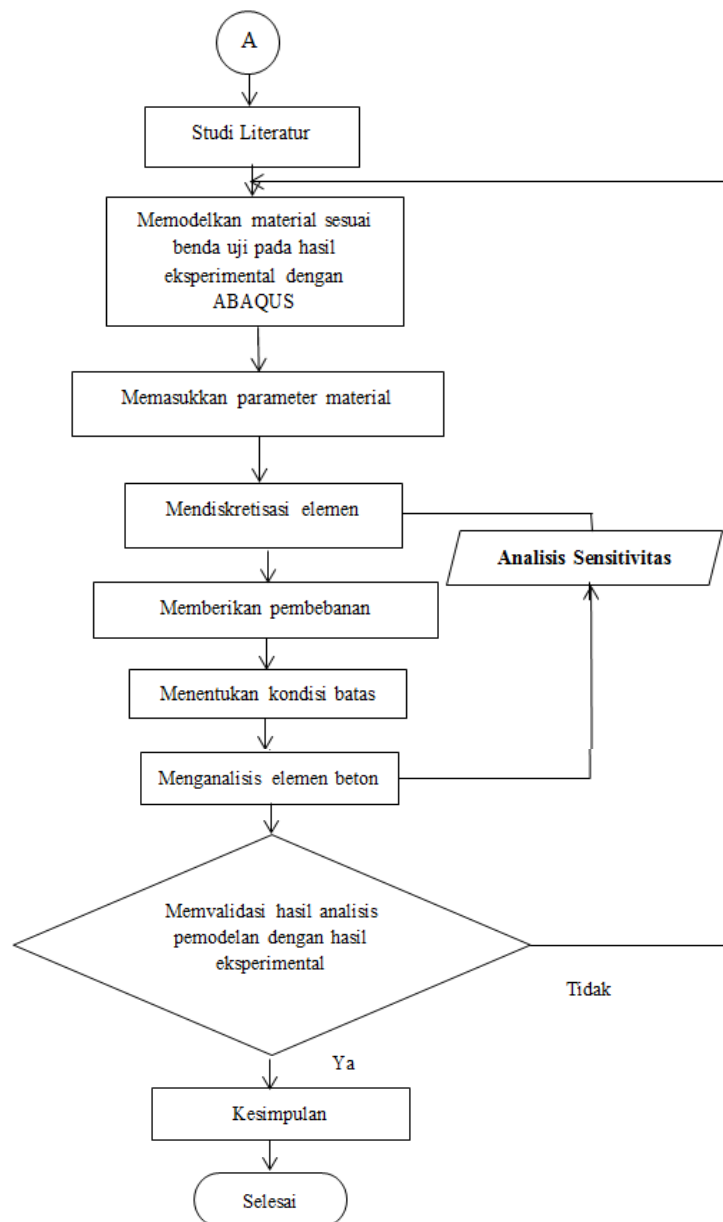
3. Perbandingan antara cara numerik dengan hasil eksperimental

Dalam memvalidasi hasil yang didapatkan dari analisis dengan program ABAQUS, diperlukan nilai perbandingan yang dilakukan secara eksperimental.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang nantinya diharapkan adalah simulasi numerik dengan metode elemen hingga ini didapatkan hasil kuat tekan beton yang mendekati dengan hasil eksperimental.

3.2.2 Diagram Alir Analisis dengan *Software* Abaqus 6.13 trial

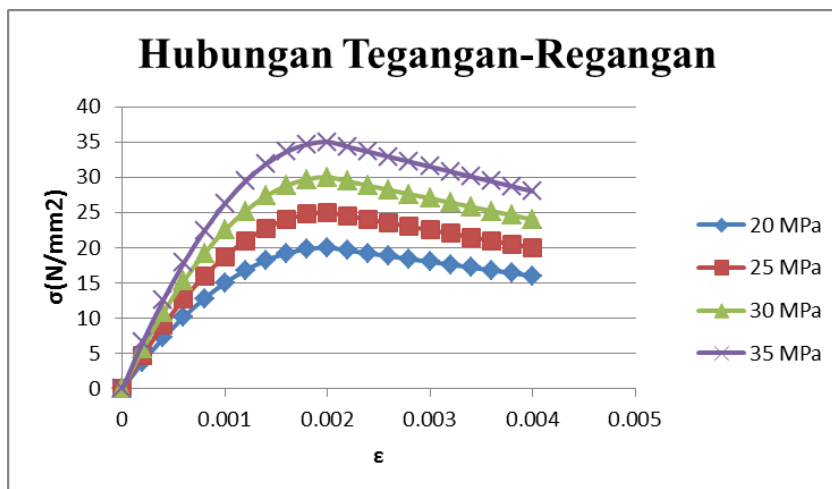


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian uji tekan pada beton yang menggunakan 4 macam mutu, yakni 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Pengambilan variasi ini berdasarkan variasi dari mutu rendah sampai mutu tinggi. Masing-masing mutu akan di uji ekperimental, yang kemudian hasilnya akan divalidasi dengan software berbasis metode elemen hingga, yakni menggunakan software ABAQUS 6.13 trial.

4.1 Hasil Data Teoritis

Untuk memvalidasi hasil ekperimental kedalam uji numerik dibutuhkan data pembanding yang sudah jelas terpercaya, yakni data perhitungan teoritis. Gambar 4.1 menunjukkan kurva tegangan regangan dari rumus yang didapatkan dari buku Park dan Paul (1975).



Gambar 4.1 Kurva Hubungan Tegangan Regangan berdasarkan rumus Park dan Paul(1975)

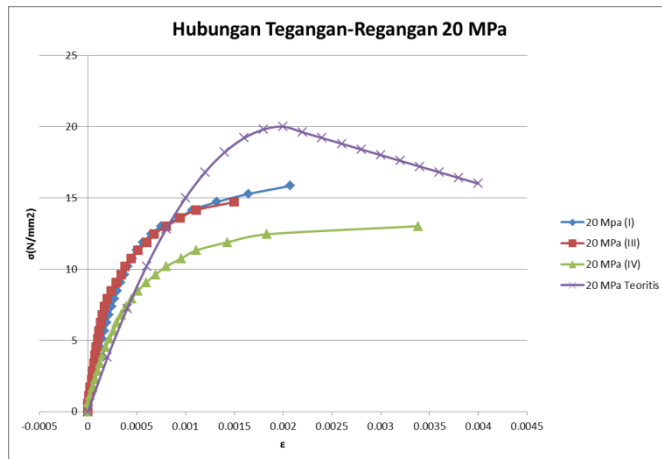
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Pada gambar diatas dapat disimpulkan bahwa nilai f_c' berada pada regagan 0,002. Sehingga penggunaan rumus sudah tepat digunakan.

4.2 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Perhitungan Teoritis

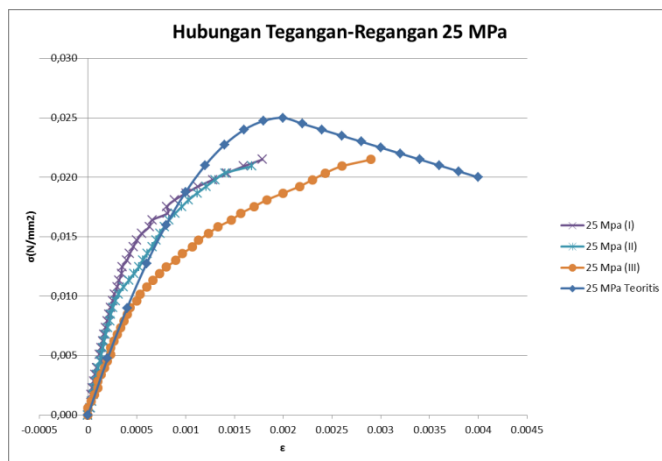
Penelitian yang dilakukan di laboratorium merupakan penelitian bersama yang dilakukan oleh penulis dan rekan-rekannya. Pada penelitian ini mutu beton dibuat

bervariasi dengan jumlah sampel sebanyak 10 sampai 12 buah tiap mutunya, namun hanya 3 sampel yang akan digunakan dalam penelitian kali ini. Hasil kurva hubungan tegangan-regangan untuk setiap mutu akan ditunjukkan pada gambar 4.2 sampai dengan gambar 4.5. Pada setiap kurva akan diberikan data tegangan regangan untuk hasil eksperimen dan data hasil teoritis. Hal ini bertujuan untuk mengetahui secara visual seberapa jauh perbedaan data hasil eksperimen dan data hasil teoritis.



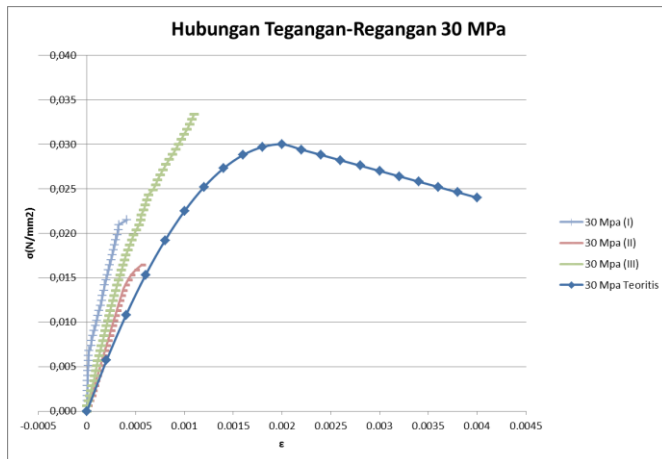
Gambar 4.2 Kurva Tegangan Regangan $f_c' = 20$ MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Data



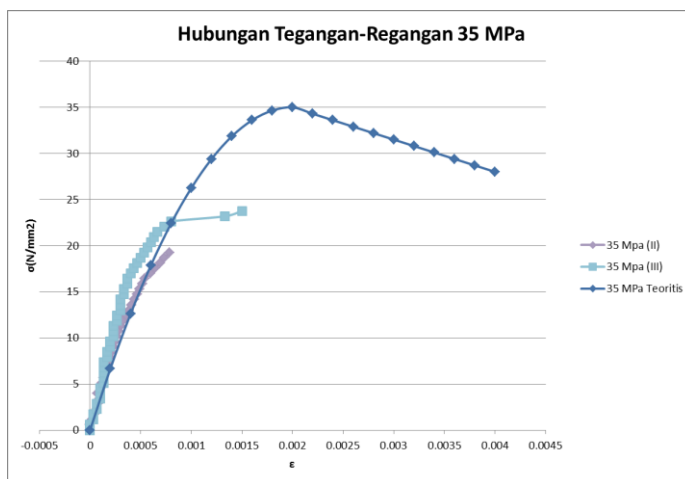
Gambar 4.3 Kurva Tegangan Regangan $f_c' = 25$ MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.4 Kurva Tegangan Regangan $f_c' = 30$ MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.5 Kurva Tegangan Regangan $f_c' = 35$ MPa

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Dari gambar 4.2 sampai dengan 4.5 dapat dikatakan bahwa sampel hasil eksperimen yang telah direncanakan dengan *mix design* tidak mencapai mutu yang ditargetkan. Hal ini dapat dikarenakan berbagai aspek, yakni aspek pelaksanaan, perawatan, maupun pengujian.

- a) Pada saat pelaksanaan : kurangnya pengalaman dalam proses pengecoran mengakibatkan slump rencana yakni 8-12 cm tidak tercapai.
- b) Pada saat perawatan : perlakuan yang dikenakan pada mutu rencana 20 MPa dan 25 MPa, yakni menggunakan kolam rendam, sedangkan pada mutu rencana 30 MPa dan 35 MPa menggunakan karung goni basah. Hal ini mengakibatkan perbedaan kandungan air yang ada dalam beton.

- c) Dan pada saat pengujian : kurangnya pengalaman penulis dalam pemasangan *strain gauge* dan pengoperasian mesin tekan, mengakibatkan pada regangan pada sampel 30-1 dan 30-3 tidak terbaca. Sedangkan untuk sampel 35-1, regangan juga tidak terbaca dikarenakan pengaturan kecepatan pembebanan yg terlalu cepat.

4.3 Pengolahan Data Numerik

Pada sub bab ini akan dilakukan 3 macam jenis analisis, yakni Analisis Tegangan-Regangan Eksperimen (ATRE) , Analisis Tegangan-Regangan Teoritis (ATRT), dan Analisis Sensitivitas (AS). ATRE dilakukan satu kali untuk setiap sampel yang ada. Sedangkan ATRT dilakukan satu kali setiap mutu yang ada. Hal ini dikarenakan pada ATRT maupun ATRE bertujuan untuk melihat distribusi tegangan-regangan dari material beton yang akan ditunjukkan melalui hasil pemodelannya.

Selain itu, akan dilakukan analisis sensitivitas terhadap proses diskretisasi (*meshing*) dan jumlah *increment* dari salah satu elemen yang dimodelkan dalam *software* pada satu mutu tertentu. Proses *meshing* ini dilakukan untuk melihat apakah software ABAQUS 6.13 trial memiliki respon yang baik terhadap berbagai variasi mutu beton. Maka dari itu, pada tugas akhir ini akan diberikan penamaan pada setiap analisis yang digunakan untuk mempermudah pemahaman mengenai penelitian yang penulis lakukan.

Tabel 4.1

Penamaan Untuk Jenis Analisis Sensitivitas

Jenis Analisis Sensitivitas	Ukuran	Kode
Ukuran <i>Meshing</i>	10x10 mm	AS1
	20x20 mm	AS2
Jumlah <i>Increment</i>	1000	AS3
	100000	AS4

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.2

Penamaan Untuk Jenis Analisis Tegangan-Regangan

Jenis Analisis	fc' (MPa)	Kode
Analisis Tegangan-Regangan Teoritis	20	ATRT1
	25	ATRT2
	30	ATRT3
	35	ATRT4

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.3

Penamaan Untuk Jenis Analisis Tegangan-Regangan

Jenis Analisis	Nomer benda Uji	Kode
Analisis Tegangan-Regangan Eksperimen	20-I	ATRE1
	20-III	ATRE2
	20-IV	ATRE3
	25-I	ATRE4
	25-II	ATRE5
	25-III	ATRE6
	30-I	ATRE7
	30-II	ATRE8
	30-III	ATRE9
	35-I	ATRE10
	35-II	ATRE11
	35-III	ATRE12

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Untuk memodelkan material beton dalam *software* ABAQUS 613 trial, maka pada penelitian kali ini digunakan parameter sebagai berikut :

Tabel 4.4

Parameter material model

Deskripsi	Beton	Plat Baja
E (Mpa)	Bervariasi ¹	200000
fc' (Mpa)	Bervariasi ¹	-
μ	Bervariasi ¹	0.3
Elemen type	C3D8R	R3D4

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Pada parameter elastisitas, yakni E dan μ , nilai modulus elastisitas (E) didapatkan dari sampai 40% dari fc' untuk ATRT dan ATRE. Sedangkan untuk pengujian tekan yang gagal, sehingga tidak bisa didapatkan nilai modulusnya, maka digunakan rumus teoritis $E_c = 4730\sqrt{fc'}$, dan untuk nilai *poisson's ratio* (μ) yang tidak termasuk dalam range 0,15-0,25, digunakan nilai sebesar 0,18.

Pada parameter plastisitas, yakni *yield stress* dan *plastic strain*, dimasukkan nilai *true strain* dan *true stress* mulai dari 40% fc' sampai mencapai tegangan maksimum (fc').

¹ Data hasil eksperimen terlampir

4.4 Hasil Pemodelan pada Berbagai Macam Analisis

4.4.1 Hasil Pemodelan pada Analisis Sensitivitas

Pada analisis ini, dicoba 2 analisis, *meshing*, yakni 10x10 mm dan 20x20 mm, serta increment 1000 dan 100000. Masing-masing variasi ukuran *meshing* dan jumlah *increment* ini hanya akan dilakukan pada beton sampel 20-1, dengan anggapan bahwa hasil dari analisis terhadap mutu ini dapat mewakili dari mutu-mutu beton normal lainnya. Berikut merupakan hasil dari analisis ukuran *meshing* yang berbeda.

Tabel 4.5

Perbedaan Hasil Analisis Sensitivitas

Kode	Jumlah Elemen	Jumlah Titik	Fc', kN	E	% Perbedaan dari hasil Eksperimen
Data dari Eksperimen			15.84	0.00207	
AS1	64510	75979	15.8712	0.00176	15%
AS2	10640	13926	15.8712	0.00145	30%
Kode	Jumlah Increment		Fc', kN	E	% Perbedaan dari hasil Eksperimen
AS3	1000		15.8712	0.00176	15%
AS4	100000		15.8712	0.00188	9%

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran *meshing*, semakin banyak jumlah elemen dan jumlah titik pada suatu model, maka nilai tegangan tidak berubah, namun nilai regangannya semakin akurat. Untuk itu pada ATRT maupun ATRE akan digunakan *meshing* dengan ukuran 10x10 mm, meskipun masih memiliki kesalahan relatif sebesar 15%.

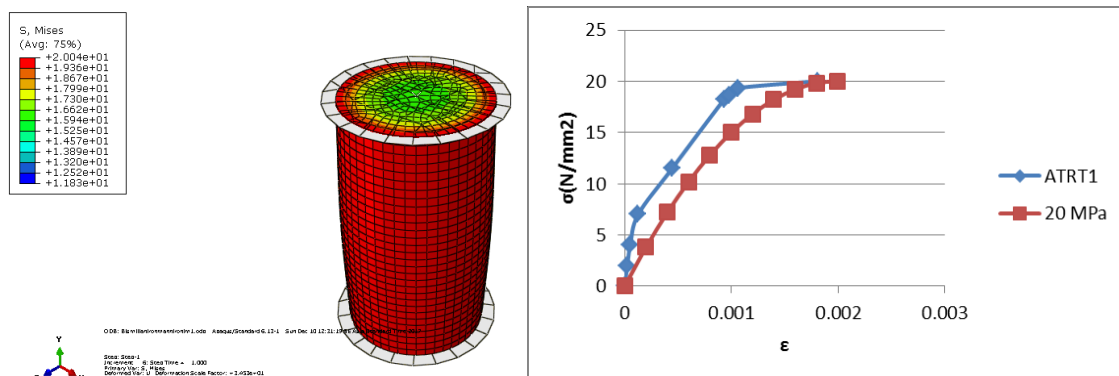
Dan dapat disimpulkan pula semakin banyak jumlah *increment*, maka nilai tegangan pun tidak berubah, namun nilai regangannya semakin akurat. Seharusnya digunakan jumlah *increment* 100000, namun karena keterbatasan komputer yang digunakan, maka digunakan *increment* 1000 pada ATRT maupun ATRE.

4.4.2 Hasil Pemodelan pada Analisis Tegangan-Regangan

4.4.2.1 Perbandingan Perhitungan Teoritis dengan Pemodelan Numerik

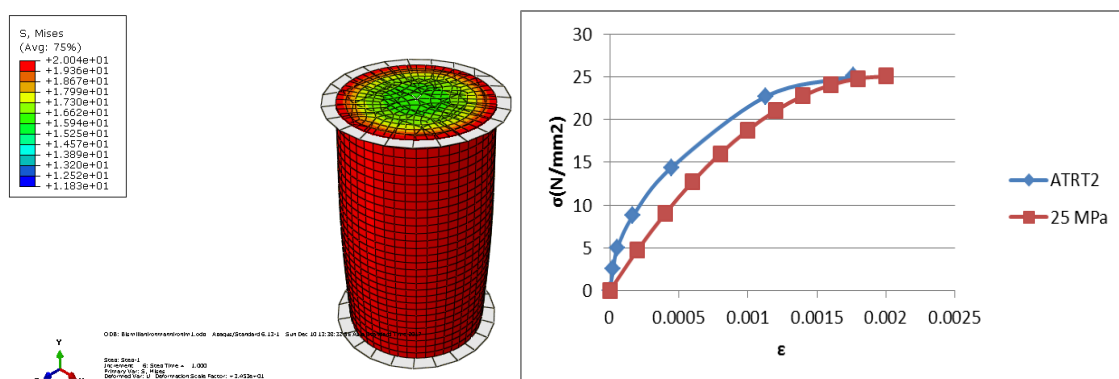
Dari grafik 4.1 sebelumnya terlihat perilaku beton dengan masing-masing kurva tegangan-regangan berdasarkan hasil perhitungan rumus Paul dan Park (1975). Sehingga dari setiap kurva akan bisa didapatkan data *properties* yang akan di masukkan pada *software* ABAQUS 6.13 *trial*. Penggunaan data perhitungan teoritis ini bertujuan untuk memberikan perbandingan antara hasil pemodelan dengan asumsi material beton tidak cacat dan sempurna. Sehingga ketika dianalisis dengan menggunakan data dari hasil

eksperimen, kesalahan relatif yang didapatkan dapat validasi dan didapatkan nilai pendekatan yang baik. Berikut merupakan hasil pemodelan dari input perhitungan teoritis yang didapatkan dari *software ABAQUS 6.13 trial*.



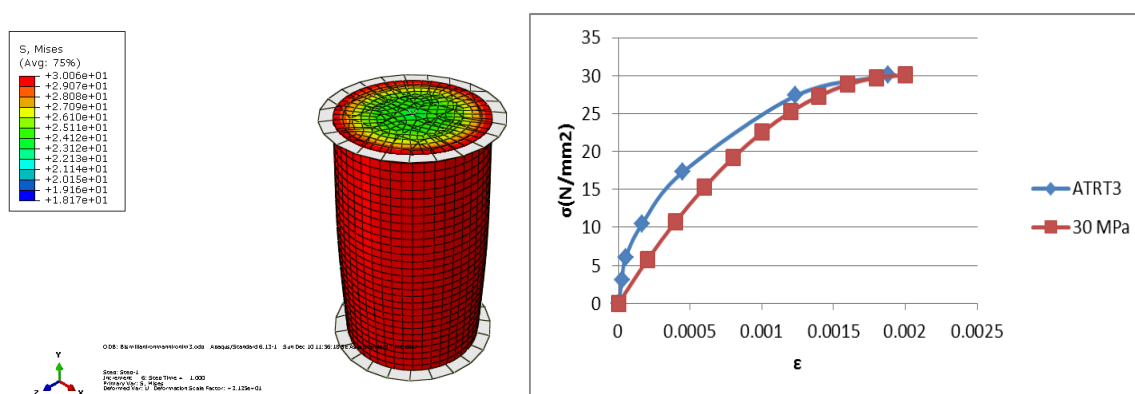
Gambar 4.6 Hasil Model ATRT 1

Sumber : Hasil Pengolahan Data



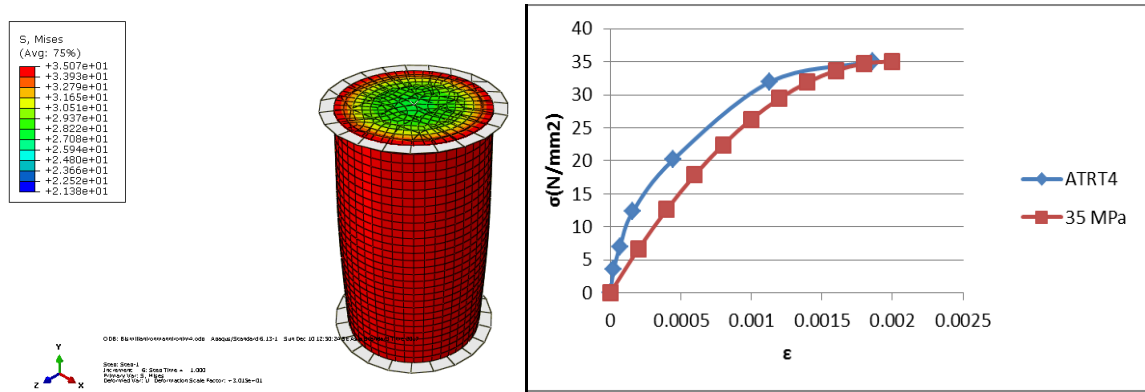
Gambar 4.7 Hasil Model ATRT 2

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.8 Hasil Model ATRT 3

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.9 Hasil Model ATRT 4

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Pada gambar 4.6 sampai dengan gambar 4.9 menunjukkan bahwa distribusi tegangan yang merata pada seluruh permukaan silinder, serta nilai tegangan maksimumnya sama dengan tegangan teoritis. Contohnya pada model ATRT 1, nilai tegangan maksimum dari teoritis sebesar 20.04 Mpa dan regangannya sebesar 0.001998, setelah disimulasikan secara numerik didapatkan hasil tegangan maksimum yang sama yakni 20.04 MPa, namun hasil regangan maksimumnya belum mendekati nilai teoritis yakni sebesar 0.00181244.

Tabel 4.6

Rekapitulasi Hasil Uji Numerik dan Teoritis

Kode	Data Pengolahan Data Teoritis		Hasil Uji Numerik	
	Tegangan (Mpa)	Regangan	Tegangan (Mpa)	Regangan
ATRT1	20.04	0.001998	20.04	0.00181244
ARTR2	25.05	0.001998	25.05	0.00176449
ATRT2	30.06	0.001998	30.06	0.00187878
ARTR3	35.07	0.001998	35.07	0.00186278

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Terlihat pada tabel 4.6 bahwa nilai yang didapatkan dari hasil simulasi *software* Abaqus 6.13 memiliki perbedaan yang kecil di tegangan dan perbedaan cukup besar pada regangan. Untuk itu diperlukan perhitungan kesalahan relatif yang terjadi pada masing-masing pemodelan. Toleransi yang diberikan sebesar 5%. Berikut merupakan hasil perhitungan kesalahan relatif.

Tabel 4.7

Kesalahan Relatif Tegangan Teoritis dan Numerik

Kode	Tegangan Teoritis, σ Mpa	Tegangan Hasil Uji Numerik, σ Mpa	Kesalahan Relatif (%)	Kesalahan Relatif Benda Uji(%)
ATRE1	20.04	20.04	0.0	0.0
ATRE2	25.05	25.05	0.0	
ATRE3	30.06	30.06	0.0	
ATRE4	35.07	35.07	0.0	

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.8

Kesalahan Relatif Regangan Teoritis dan Numerik

Kode	Regangan Hasil Teoritis, ϵ	Regangan Hasil Uji Numerik, ϵ	Kesalahan Relatif (%)	Kesalahan Relatif Benda Uji(%)
ART1	0.001998	0.001812	9.3%	7.2%
ART2	0.001998	0.001864	6.7%	
ART3	0.001998	0.001879	6.0%	
ART4	0.001998	0.001863	6.8%	

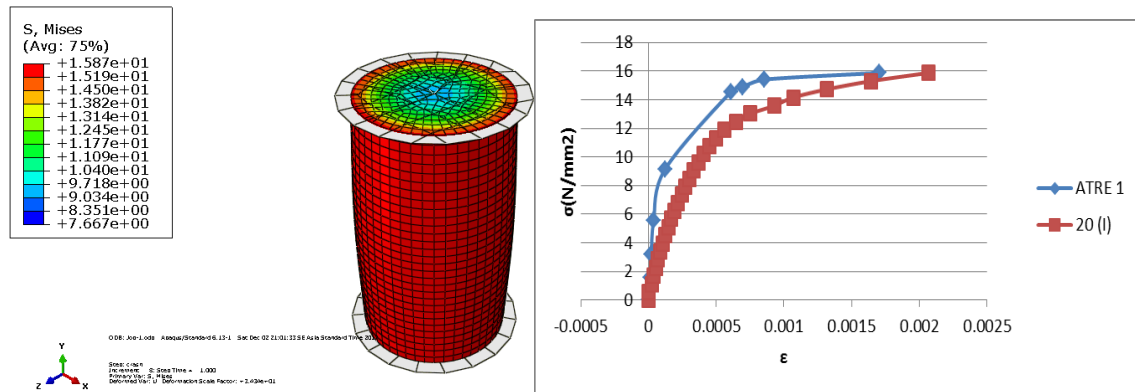
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Kesalahan relatif tegangan yang terjadi pada pemodelan dengan menggunakan *input data* dari perhitungan teoritis yang dilakukan memiliki nilai kesalahan relatif (ϵ_r) kurang dari 5% pada hasil tegangan maksimum yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan sudah mendekati hasil eksperimen.

Namun kesalahan relatif pada regangan cukup besar yakni 7,2%. Hal ini menunjukkan bahwa masih kurangnya parameter material yang tepat untuk menggambarkan perilaku beton, terutama dalam pemodelan tumpuan yang digunakan, serta kondisi batas yang digunakan. Pengaruh pada ketebalan plat baja yang berguna untuk menyebarkan beban secara merata pun dapat dijadikan faktor penyebab kurang validnya pemodelan yang dilakukan. Sehingga, secara umum hasil pemodelan antara tegangan dan regangan memiliki kesalahan relatif sebesar 3,5% dan dapat dikatakan baik.

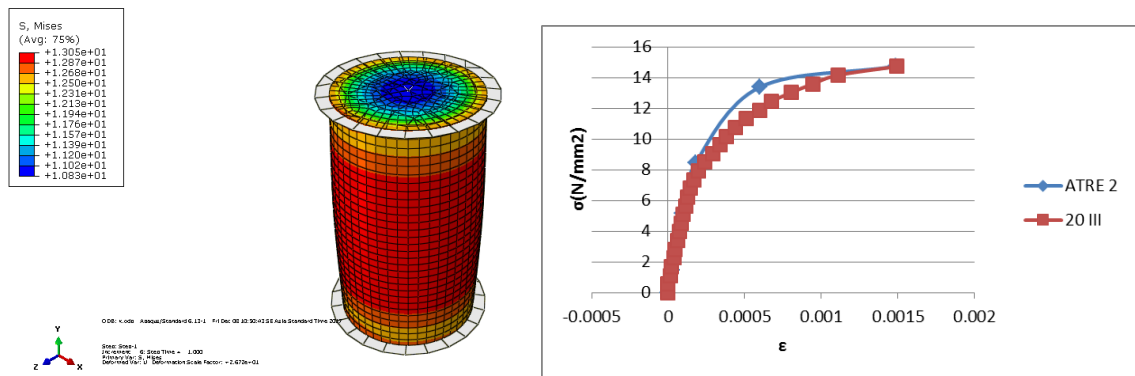
4.4.2.1 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Pemodelan Numerik

Seperti yang telah dibahas pada subbab 4.2, hasil eksperimen merupakan hasil yang sebenarnya dari suatu material beton dengan semua kesalahan dan cacat pada saat pelaksanaan hingga pengujian. Untuk itu pemodelan dengan input data hasil eksperimen memiliki nilai tegangannya yang kurang baik. Berikut hasil pemodelan ditunjukkan pada gambar 4.10 sampai dengan gambar 4.21.



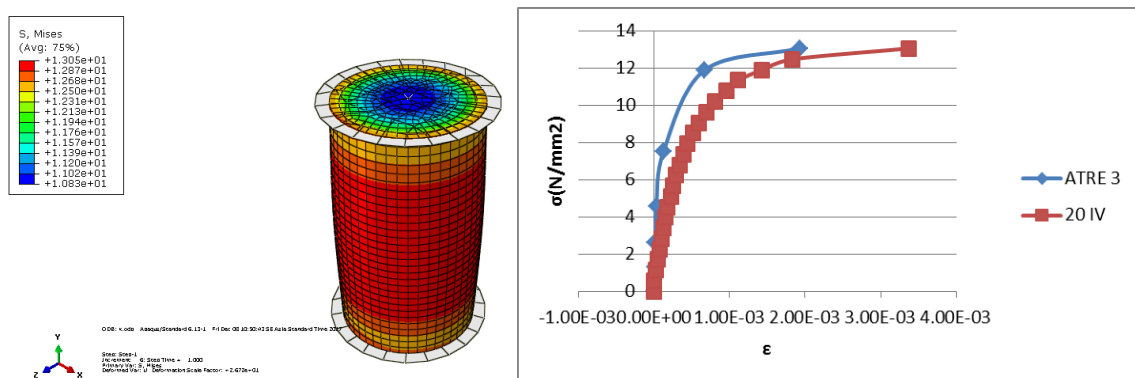
Gambar 4.10 Hasil Model ATRE I

Sumber : Hasil Pengolahan Data

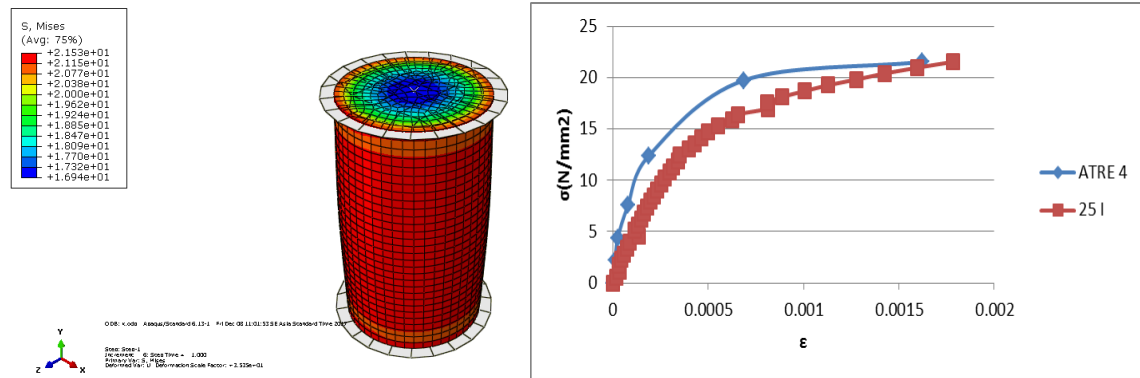


Gambar 4.11 Hasil Model ATRE 2

Sumber : Hasil Pengolahan Data

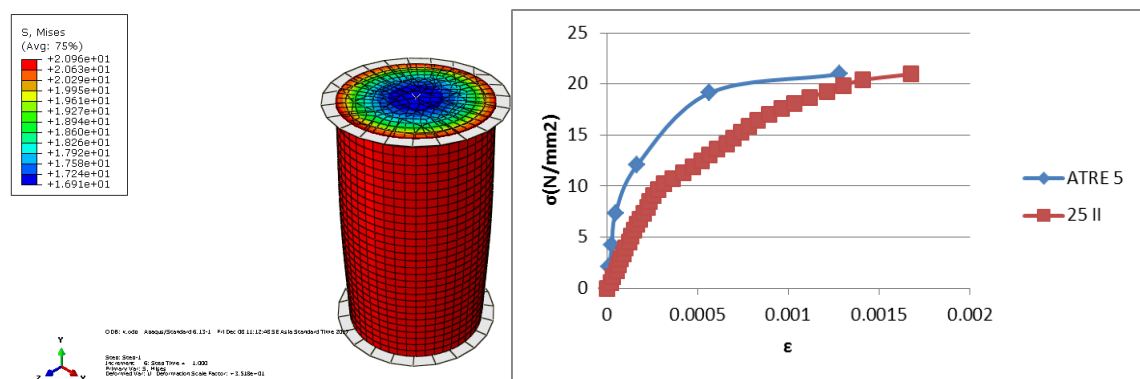


Gambar 4.12 Hasil Model ATRE 3



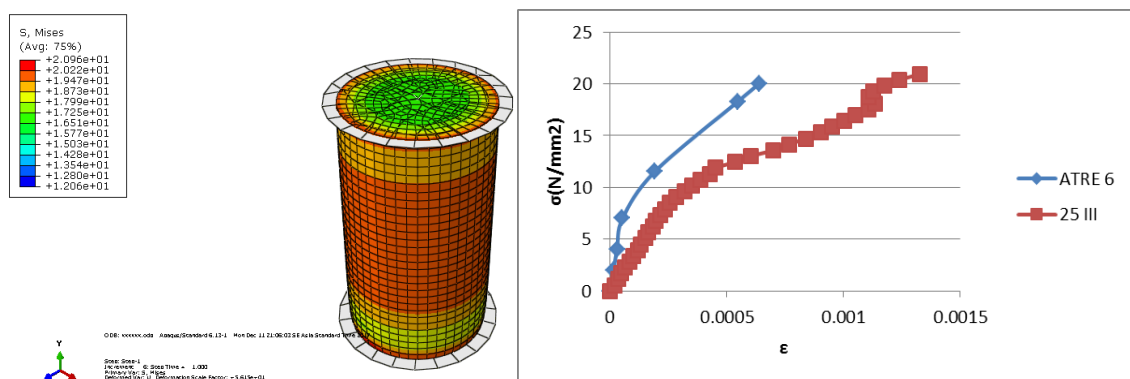
Gambar 4.13 Hasil Model ATRE 4

Sumber : Hasil Pengolahan Data



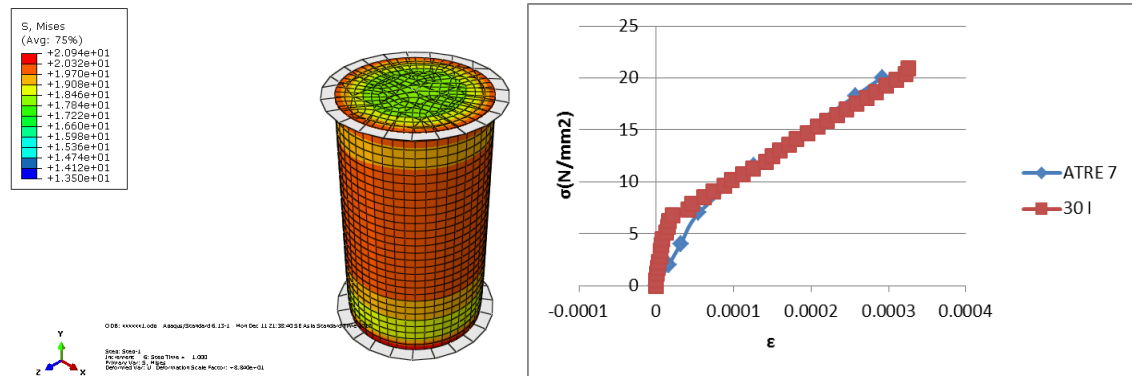
Gambar 4.14 Hasil Model ATRE 5

Sumber : Hasil Pengolahan Data



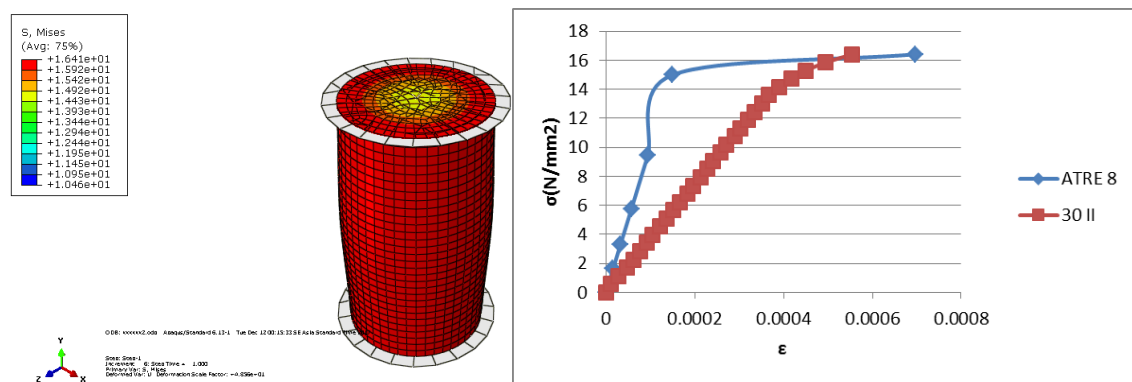
Gambar 4.15 Hasil Model ATRE 6

Sumber : Hasil Pengolahan Data



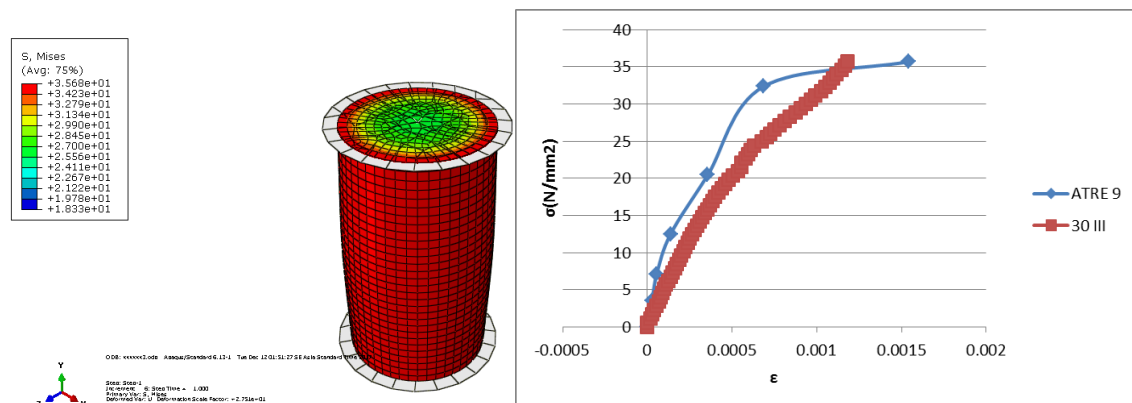
Gambar 4.16 Hasil Model ATRE 7

Sumber : Hasil Pengolahan Data



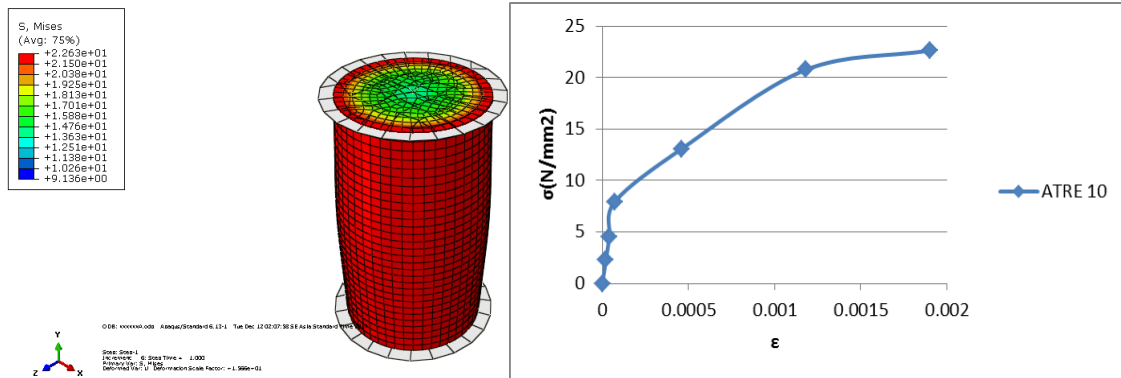
Gambar 4.17 Hasil Model ATRE 8

Sumber : Hasil Pengolahan Data



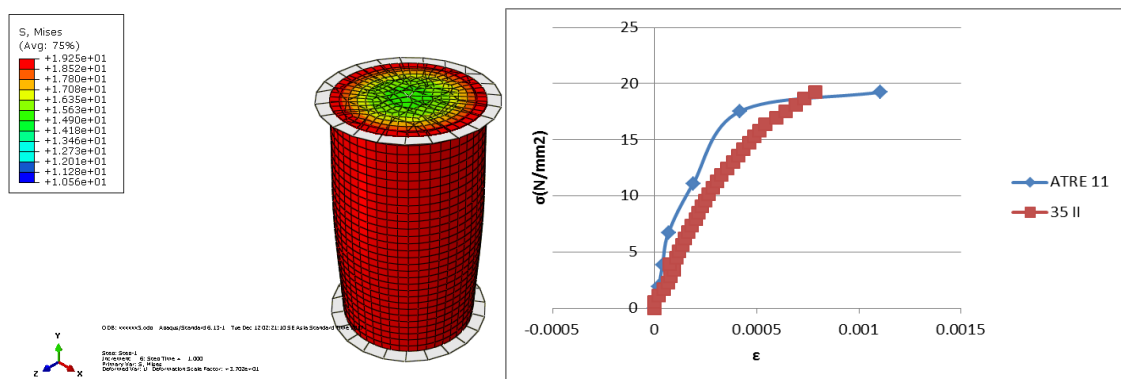
Gambar 4.18 Hasil Model ATRE 9

Sumber : Hasil Pengolahan Data



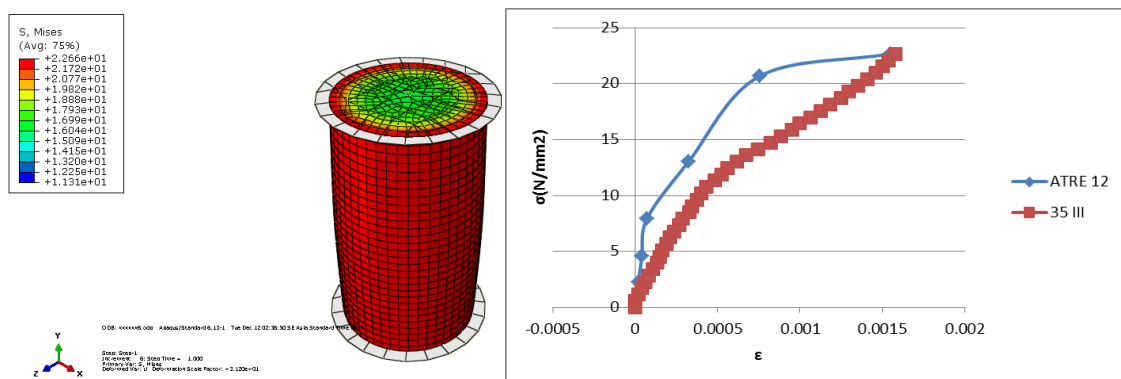
Gambar 4.19 Hasil Model ATRE 10

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.20 Hasil Model ATRE 11

Sumber : Hasil Pengolahan Data



Gambar 4.21 Hasil Model ATRE 12

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Dari hasil proses simulasi diketahui tegangan maksimum yang terjadi ditandai dengan warna merah. Tegangan tersebut merata pada seluruh permukaan beton. Contohnya pada model ATRE III mengalami tegangan maksimum sebesar 13.05 MPa dengan regangan

sebesar 0.00193 yang nilainya mendekati nilai eksperimen yakni sampel benda uji nomor 20-IV dengan tegangan maksimum sebesar 13.01 MPa dan regangan sebesar 0.0029.

Pada kurva tegangan-regangan dari hasil simulasi dengan Abaqus 6.13 trial diatas pun juga masih belum detail, karena output data hanya 6 titik. Sehingga nilai tegangan dan regangan dari mulai berperilaku plastis sampai mencapai tegangan maksimum tidak tergambar dengan baik. Namun sudah terlihat jelas daerah linearnya.

Penyebab dari kurang detailnya kurva adalah pertama kurangnya jumlah *increment* pada pemodelan dan yang kedua adalah ukuran *meshing*. Untuk menambah jumlah *increment* dan mengecilkan ukuran *meshing* dibutuhkan *memory* laptop yang besar.

Tabel 4.9

Rekapitulasi Hasil Uji Numerik dan Eksperimental

Nomer Benda Uji	Kode	Hasil Uji Eksperimental		Hasil Uji Numerik	
		Tegangan (Mpa)	Regangan	Tegangan (Mpa)	Regangan
20-I	ATRE1	15.84	0.00207	15.84	0.00171
20-III	ATRE2	14.71	0.00150	14.71	0.00149
20-IV	ATRE3	12.47	0.00183	13.03	0.00193
25-I	ATRE4	21.49	0.00179	21.50	0.00162
25-II	ATRE5	20.93	0.00168	20.94	0.00128
25-III	ATRE6	20.93	0.00133	20.02	0.00064
30-I	ATRE7	20.93	0.00033	20.04	0.00029
30-II	ATRE8	16.40	0.00056	16.40	0.00070
30-III	ATRE9	35.64	0.00118	35.62	0.00154
35-I	ATRE10	22.63	0.00230	22.58	0.00190
35-II	ATRE11	19.23	0.00079	19.23	0.00111
35-III	ATRE12	22.63	0.00158	22.63	0.00155

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Terlihat pada tabel 4.9 bahwa nilai yang didapatkan dari hasil simulasi *software* Abaqus 6.13 memiliki perbedaan yang kecil di tegangan dan perbedaan cukup besar pada regangan. Untuk itu diperlukan perhitungan kesalahan relatif yang terjadi pada masing-masing pemodelan. Toleransi yang diberikan sebesar 5%. Berikut merupakan hasil perhitungan kesalahan relatif. Untuk menentukan kesalahan yang terjadi pada uji numerik, maka dilakukan perhitungan $kr(\%)$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 sampai 4.11.

Tabel 4.10

Kesalahan relatif Tegangan Uji Eksperimental dan Numerik

Kode	Tegangan Hasil Uji Eksperimental, σ Mpa	Tegangan Hasil Uji Numerik, σ Mpa	Kesalahan Relatif (%)	Kesalahan Relatif Benda Uji(%)
ATG1	15.84	15.87	0.2	0.2
ATG2	14.71	14.73	0.1	
ATG3	13.01	13.05	0.3	
ATG4	21.49	21.53	0.2	0.2
ATG5	20.93	20.96	0.2	
ATG6	21.49	0.47	0.2	
ATG7	36.20	35.10	3.0	1.3
ATG8	21.49	21.30	0.9	
ATG9	37.33	37.35	0.1	
ATG10	22.63	22.65	0.1	1.5
ATG11	26.19	27.21	3.9	
ATG12	23.14	23.25	0.5	
Rata-rata Kr (%)				0.8

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.11

Kesalahan Relatif Regangan Uji Eksperimental dan Numerik

Kode	Regangan Hasil Uji Eksperimental, ϵ	Regangan Hasil Uji Numerik, ϵ	Kesalahan Relatif (%)	Kesalahan Relatif Benda Uji(%)
ATRE1	0.00207	0.00171	17.6	7.7
ATRE2	0.00150	0.00149	0.3	
ATRE3	0.00183	0.00193	5.3	
ATRE4	0.00179	0.00162	9.1	18.2
ATRE5	0.00168	0.00128	23.4	
ATRE6	0.00133	0.00064	22.2	
ATRE7	0.00033	0.00029	10.6	22.2
ATRE8	0.00056	0.00070	25.7	
ATRE9	0.00118	0.00154	30.4	
ATRE10	0.00230	0.00190	17.3	20.0
ATRE11	0.00079	0.00111	40.7	
ATRE12	0.00158	0.00155	2.0	
Rata-rata KR (%)				17.0

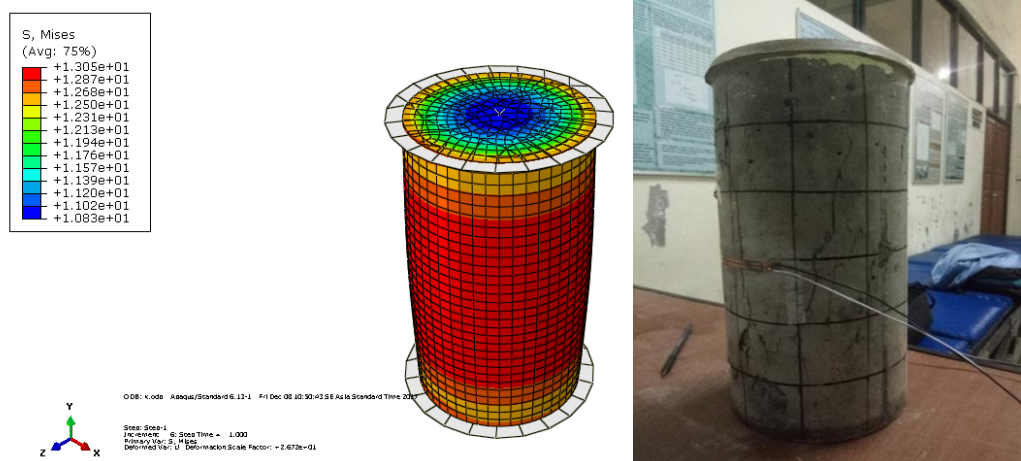
Sumber : Hasil Pengolahan Data

Kesalahan relatif dari *input data* hasil eksperimen pada tegangan maksimum memiliki nilai yang kurang dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan sudah mendekati hasil eksperimen.

Namun kesalahan relatif pada regangan cukup besar yakni sebesar 17% . Hal ini menunjukkan bahwa masih kurangnya parameter material yang tepat untuk menggambarkan perilaku beton, terutama dalam pemodelan tumpuan yang digunakan, serta kondisi batas yang digunakan. Pengaruh pada ketebalan plat baja yang berguna untuk menyebarkan beban secara merata pun dapat dijadikan faktor penyebab kurang validnya pemodelan yang dilakukan. Serta, yang paling utama adalah dikarenakan *input data* dari eksperimen kurang baik. Sehingga, secara umum kesalahan relatif hasil analisis tegangan-regangan baik teoritis maupun eksperimental melebihi 5% dan dapat dikatakan belum baik.

4.4.2.3 Perbandingan Letak Keretakan

Jika dibandingkan dengan kondisi real pada hasil eksperimen yang terlihat pada gambar 4.9. Maka, diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada daerah seluruh daerah permukaan sampel. Hal ini sesuai dengan semua model yang mengalami keretakan pada saat pengujian. Tegangan maksimum tersebut menunjukkan bahwa pada daerah tersebut mengalami regangan maksimum atau mengalami pengurangan ketebalan. Sehingga memungkinkan terjadinya retak yang biasanya diawali mulai dari daerah yang mengalami tegangan maksimum.



Gambar 4.22 Daerah retak pada beton hasil eksperimen

Sumber : Hasil Pengolahan Data

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan bab sebelumnya didapatkan bahwa,

1. Besar tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap mutu tidak sesuai dengan target mutu pada saat perencanaan, berikut merupakan hasil tegangan-regangan pada setiap mutu

Tabel 5.1

Hasil Uji Eksperimental

Nomer Benda Uji	Hasil Uji Eksperimental	
	Tegangan (Mpa)	Regangan
20-I	15.84	0.00147
20-III	14.71	0.00150
20-IV	13.01	0.00290
25-I	21.49	0.00179
25-II	20.93	0.00240
25-III	21.49	0.00290
30-I	36.20	0.00041
30-II	21.49	0.00035
30-III	37.33	0.00153
35-I	22.63	0.00230
35-II	26.19	0.00053
35-III	23.14	0.00150

2. Hasil distribusi tegangan pada model yang dibuat merata pada seluruh permukaan beton, sehingga keretakan dapat dimulai pada titik manapun.
3. Hasil validasi analisis numerik yang dilakukan dapat dikatakan baik. Hal ini dikarenakan kesalahan relatif yang terjadi terbukti kurang dari 5% pada tegangan dan masih kurang baik dalam regangannya. Sehingga pemodelan yang dilakukan belum baik.

Maka dari itu, software ABAQUS 6.13 trial dapat membantu para *engineer* untuk mensimulasikan uji kuat tekan pada struktur beton. Sehingga dapat disimpulkan bahwa

untuk struktur yang telah diketahui mekanisme keruntuhannya, maka bisa dibuat tahapan simulasi numeriknya. Akan tetapi, untuk struktur baru yang belum pernah dilakukan suatu riset empiris, maka hasil simulasinya masih berupa hipotesis. Karena model beton yang diamati pada penelitian ini sudah diketahui mekanisme keruntuhannya, maka strategi penelitian dengan menggunakan simulasi numerik ini akan menghemat biaya.

5.2 Saran

Perlu adanya penyempurnaan simulasi dengan *FEM (Finite Element Method)* dengan menyempurnakan teknik meshing agar didapatkan data yang lebih banyak. Serta, perlunya pengembangan dengan menggunakan variasi material elatis-plastis, seperti *CDP (Concrete Damage Plasticity)* pada beton struktural, agar dapat digunakan pada kasus-kasus dengan pembebanan dan bentuk yang bervariasi lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaqus/CAE User's Manual 6.13. Dassault Systems Simulia Corp., Providence. RI. USA
- Chaudhari, SV. & Chakrabarti, MA. (2012). Modeling of concrete for nonlinear analysis Using Finite Element Code ABAQUS. *International Journal of Computer Application* (0975-8887). Vol 44-No.7.
- Demir, A. Ozturk, H. & Dok, G. (2016). 3d Numerical Modeling of RC Deep Beam Behaviour by Nonlinear Finite Element Analysis. *Disaster Science and Engineering*. II(1): 13-18.
- Dipodusodo, Istimawan. (1999). *Struktur beton bertulang*. Jakarta. PT.Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- ABAQUS tutorial. (2007). USA: Brown University. <http://www.engin.brown.edu/course/En175>. (diakses 18 Maret 2017).
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., (1997). *Mekanika Bahasan*. Jakarta: Erlangga
- GSell, C & Jonas, JJ. (1979). Determination of the plastic behaviour of solid polymers at constant true strain rate. *Journal of materials Science* 14: 583-591.
- Hastomo, Budi. (2009). *Analisis Pengaruh Sifat Mekanik Material Terhadap Distribusi Tegangan Pada Proses Deep Drawing Produk End Cup Hub Body Maker dengan Menggunakan Software Abaqus 6.5-1*. Surakarta. http://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/14512/MjkkOTM= (diakses 15 Agustus 2017)
- Irwanto, aditya. (2010). *Pemodelan Respon non-linear Material Beton akibat beban aksial dengan menggunakan software berbasis finiter element analysis*. Tugas Akhir S1 Teknik Sipil Institut Teknologi Surabaya.
- Khennane, Amar. (2013). *Introduction to finite Element Analysis Using MATLAB and Abaqus*. London : CRC Press
- Logan, Daryl. (2007). *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition*. Canada: Thompson.
- Nawy, Edward G. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT ERESKO.
- Setyowulan, Desy, et al. (2014). Elasto-Plastic Behaviour of 3-Dimensional Reinforced concrete Abutments considering the Effect Of The Wing Wall. *Internasional*

Journal of Civil Engineering and Technology. ISSN 0976-6313, Volume 5, Issue 11, pp. 97-113

SNI. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta:Balitbang.

Sutrisno. (2009). *Tinjauan Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio Beton Serat Performa Tinggi dengan Penambahan Silica Fume, Fly Ash, dan Serat Baja*. <http://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/14553/MjkzOTM=/> (diakses 1 Juli 2017)

Wahalathantri, B.L. Thambiratnam, D.P. Chan, T.H.T. & Fahwzia, S. (2011). A Material Model For Flexural Crack Simulation In Reinforced Concrete Element Using Abaqus. *Queensland University of Technology, Queensland University of Technology, Brisbane, Qld*. pp.260-264. <http://eprints.qut.edu.au/41712/> (diakses 1 Januari 2017).

Triatmodjo, Bambang. (2002). *Metode Numerik dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta:Beta Offset.

Park, R, dan Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. New York:John Wiley & Sons Inc.

Qi, Fugong,. Ding, Haimin,. Wang Xianlong,. Liu, Qing,. & Zhang, Xiunchun. (2017). The Stress And Strain Field Distribution Around The Reinforced Particles In Al/TiC Composite: A Finite Element Modeling Study. *School of Energy, Power, and Mechanical Engineering, North China Electric Power University*. pp. 297-305. www.elsevier.com/locate/compmatsci/ (diakses 13 Oktober 2017)

LAMPIRAN 1 PEMERIKSAAN KADAR AIR DAN BERAT ISI AGREGAT

Tabel L.1 Kadar Air Agregat Halus

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	122.3	113.3
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	121.3	113.2
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	1	0.1
4	Berat Talam	(gr)	4	4.1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	117.3	109.1
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0.85	0.09
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0.47	

Tabel L.2 Kadar Air Agregat Kasar

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	96.2	99.2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	91.3	94
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	4.9	5.2
4	Berat Talam	(gr)	4.1	4.2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	87.2	89.8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	5.62	5.8
7	Kadar Air rata-rata	(%)	5.70	

Tabel L.3 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3050	3050
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2000	2000
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.905	1.905
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4350	4000
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3300	2950
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1732.5	1548.8
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	1640.625	

Tabel L.4 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3050	3050
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2000	2000
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.905	1.905
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4200	3900
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3150	2850
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1653.750	1496.250
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1575.00	

LAMPIRAN 2 ANALISIS GRADASI AGREGAT HALUS

Tabel L.5 Analisis Gradasi

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	-
2.5"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1.5"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	-	-	-
3/8"	9.5	-	-	-	100
4	4.76	22	2.200	2.200	97.800
8	2.38	95.80	9.580	11.780	88.220
16	1.19	215.6	21.560	33.340	66.660
20	0.59	297.2	29.720	63.060	36.940
50	0.297	192.4	19.240	82.300	17.700
100	0.149	120.8	12.080	94.380	5.620
200	0.075	43.2	4.320	98.700	1.300
Pan		13	1.300	-	-
Σ =		1000	100	385.760	

Grafik L.1 Analisis Gradasi

Lampiran 3 Analisis Gradasi Agregat Kasar

Tabel L.6 Analisis Gradasi Agregat Kasar

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00
0.75"	19.1	2020	20.20	20.20	79.80
0.5"	12.7	4840	48.40	68.60	31.40
0.375"	9.5	2280	22.80	91.40	8.60
4	4.76	860	8.60	100.00	0.00
8	2.38	0	0.00	100.00	-
16	1.19	-	-	100.00	-
20	0.85	-	-	100.00	-
50	0.297	-	-	100.00	-
100	0.149	-	-	100.00	-
200	0.075	-	-	100.00	-
Pan		-	-	100.00	-
Σ =		10000	100.0	980.20	

Grafik L.1 Analisis Gradasi

LAMPIRAN 4 BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT

Tabel L.7 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	488.9
Berat piknometer + air (pada suhu kamar)	B	(gr)	666.3
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	977.4

NOMOR CONTOH		B
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	$Bk/(B+500-Bt)$	2.588
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$	2.647
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2.750
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2.270

Tabel L.7 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Nomor Contoh			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4950
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3157

Nomor Contoh		B
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	$Bk/(Bj-Ba)$	2.686
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	$Bj/(Bj-Ba)$	2.713
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	$Bk/(Bk-Ba)$	2.761
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	1.010

LAMPIRAN 5 FORMULIR PERANCANGAN CAMPURAN BETON

Tabel L.8 Formulir Perancangan Campuran Beton 20 MPa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	20	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	32	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0.54	-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.60	-
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	Ditetapkan	40	mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205	kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (7)	379.63	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	kg/m3
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	39.0%	-
18	Berat jenis relatif agregat halus (SSD)	Diketahui	2.65	kg/m3
19	Berat isi beton	Grafik 16	2375	kg/m3
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1790.37	kg/m3
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	698.24	kg/m3
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1092.13	kg/m3

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m3)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	379.63	205.00	698.24	1092.13
Tiap campuran benda uji	26.53	14.33	48.80	76.33
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	379.63	166.28	685.69	1143.40
Tiap campuran benda uji	26.53	11.62	47.92	79.91
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0.5	1.8	2.9
Proporsi (Aktual)	1	0.4	1.81	3.01

Tabel L.9 Formulir Perancangan Campuran Beton 25 MPa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	25	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	37	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0.5	-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.60	-
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	Ditetapkan	40	mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205	kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (7)	410.00	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	kg/m3
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	36.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat halus (SSD)	Diketahui	2.65	kg/m3
19	Berat isi beton	Grafik 16	2375	kg/m3
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1760.00	kg/m3
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	642.40	kg/m3
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1117.60	kg/m3

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m3)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	410.00	205.00	642.40	1117.60
Tiap campuran benda uji	13.53	6.77	21.20	36.88
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	410.00	164.08	630.85	1170.07
Tiap campuran benda uji	13.53	5.41	20.82	38.61
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0.5	1.6	2.7
Proporsi (Aktual)	1	0.4	1.54	2.85

Tabel L.10 Formulir Perancangan Campuran Beton 30 MPa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	30	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	42	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0.46	-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.60	-
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	Ditetapkan	40	mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205	kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (7)	445.65	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	kg/m3
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	35.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat halus (SSD)	Diketahui	2.65	kg/m3
19	Berat isi beton	Grafik 16	2375	kg/m3
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1724.35	kg/m3
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	612.14	kg/m3
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1112.20	kg/m3

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m3)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	445.65	205.00	612.14	1112.20
Tiap campuran benda uji	31.15	14.33	42.78	77.73
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	445.65	163.79	601.14	1164.42
Tiap campuran benda uji	31.15	11.45	42.01	81.38
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0.5	1.4	2.5
Proporsi (Aktual)	1	0.4	1.35	2.61

Tabel L.11 Formulir Perancangan Campuran Beton 35 MPa

NO	URAIAN	TABEL / GRAFIK	NILAI	SATUAN
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	Ditetapkan	35	Mpa
2	Deviasi standar	Diketahui	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	(K=1,64) 1,64*(2)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1) + (3)	47	Mpa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik 1/2	0.42	-
8	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0.60	-
9	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	Ditetapkan	40	mm
11	Kadar Air Bebas	TABEL 6	205	kg/m3
12	Jumlah semen	(11) : (7)	488.10	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-	kg/m3
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-	-	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 - 6	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	Grafik 13 - 15	34.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat halus (SSD)	Diketahui	2.65	kg/m3
19	Berat isi beton	Grafik 16	2375	kg/m3
20	Kadar agregat gabungan	(19) - (11) - (12)	1681.90	kg/m3
21	Kadar agregat halus	(17) * (20)	580.26	kg/m3
22	Kadar agregat kasar	(20) - (21)	1101.65	kg/m3

Banyaknya Bahan (Teoritis)	Semen (kg)	Air (kg/m3)	Ag. Halus (kg)	Ag. Kasar (kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	488.10	205.00	580.26	1101.65
Tiap campuran benda uji	34.11	14.33	40.55	76.99
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	488.10	163.71	569.82	1153.37
Tiap campuran benda uji	34.11	11.44	39.82	80.61
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0.4	1.2	2.3
Proporsi (Aktual)	1	0.3	1.17	2.36

LAMPIRAN 6 FORM PENGUJIAN TEKAN

Tabel L.12 Form Pengujian Tekan 20 MPa

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON				
Nama : Mutu 20 Mpa				
Tanggal uji : 21/03/17 Tanggal dibuat : 22/02/17				
Tempat Uji : Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi FT-UB				
Benda uji : Silinder Ukuran : 15 cm x 30 cm				
Nomor benda uji	Satuan	20-I	20-III	20-IV
Umur benda uji	(hari)	28	28	28
Diameter benda uji	(mm)	150	150	150
Tinggi benda uji	(mm)	300	300	300
Berat benda uji	(t)	0.0130	0.0132	0.0128
Volume benda uji	(mm ³)	5303571	5303571	5303571
Berat volume	(t/mm ³)	2.45118E-09	2.4795E-09	2.4135E-09
Beban maksimum	(N)	280000	260000	230000
Luas	(mm ²)	17678.5714	17678.57	17678.57
$\sigma = P/A$	(Mpa)	15.8383838	14.70707	13.0101
Kuat tekan rata-rata	(Mpa)	14.51851852		

Tabel L.13 Form Pengujian Tekan 25 MPa

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON				
Nama : Mutu 25 Mpa				
Tanggal uji : 24/03/17 Tanggal dibuat : 25/02/17				
Tempat Uji : Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi FT-UB				
Benda uji : Silinder Ukuran : 15 cm x 30 cm				
Nomor benda uji	Satuan	25-I	25-II	25-III
Umur benda uji	(hari)	28	28	28
Diameter benda uji	(mm)	150	150	150
Tinggi benda uji	(mm)	300	300	300
Berat benda uji	(t)	0.0130	0.0130	0.01315
Volume benda uji	(mm ³)	5303571	5303571	5303571
Berat volume	(t/mm ³)	2.45118E-09	2.45E-09	2.48E-09
Beban maksimum	(N)	380000	370000	380000
Luas	(mm ²)	17678.5714	17678.6	17678.6
$\sigma = P/A$	(Mpa)	21.4949495	20.9293	21.4949
Kuat tekan rata-rata	(Mpa)	21.30639731		

Tabel L.14 Form Pengujian Tekan 30 MPa

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON				
Nama : Mutu 30 Mpa				
Tanggal uji : 04/04/17 Tanggal dibuat : 05/03/17				
Tempat Uji : Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi FT-UB				
Benda uji : Silinder Ukuran : 15 cm x 30 cm				
Nomor benda uji	Satuan	30-I	30-II	30-III
Umur benda uji	(hari)	28	28	28
Diameter benda uji	(mm)	150	150	150
Tinggi benda uji	(mm)	300	300	300
Berat benda uji	(t)	0.0132	0.0133	0.01325
Volume benda uji	(mm ³)	5303571	5303571	5303571
Berat volume	(t/mm ³)	2.48889E-09	2.5077E-09	2.4983E-09
Beban maksimum	(N)	380000	370000	660000
Luas	(mm ²)	17678.5714	17678.57	17678.57
$\sigma = P/A$	(Mpa)	21.4949495	20.92929	37.33333
Kuat tekan rata-rata	(Mpa)	26.58585859		

Tabel L.14 Form Pengujian Tekan 35 MPa

PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON				
Nama : Mutu 35 Mpa				
Tanggal uji : 04/04/17 Tanggal dibuat : 05/03/17				
Tempat Uji : Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi FT-UB				
Benda uji : Silinder Ukuran : 15 cm x 30 cm				
Nomor benda uji	Satuan	35-I	35-II	35-III
Umur benda uji	(hari)	28	28	28
Diameter benda uji	(mm)	150	150	150
Tinggi benda uji	(mm)	300	300	300
Berat benda uji	(t)	0.0131	0.0132	0.01305
Volume benda uji	(mm ³)	5303571	5303571	5303571
Berat volume	(t/mm ³)	2.47003E-09	2.49E-09	2.46E-09
Beban maksimum	(N)	400000	380000	420000
Luas	(mm ²)	17678.5714	17678.6	17678.6
$\sigma = P/A$	(Mpa)	22.6262626	21.4949	23.7576
Kuat tekan rata-rata	(Mpa)	22.62626263		

LAMPIRAN 7 TABULASI HASIL EKSPERIMEN

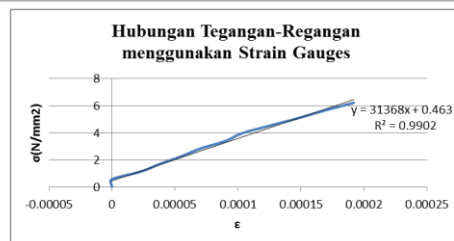
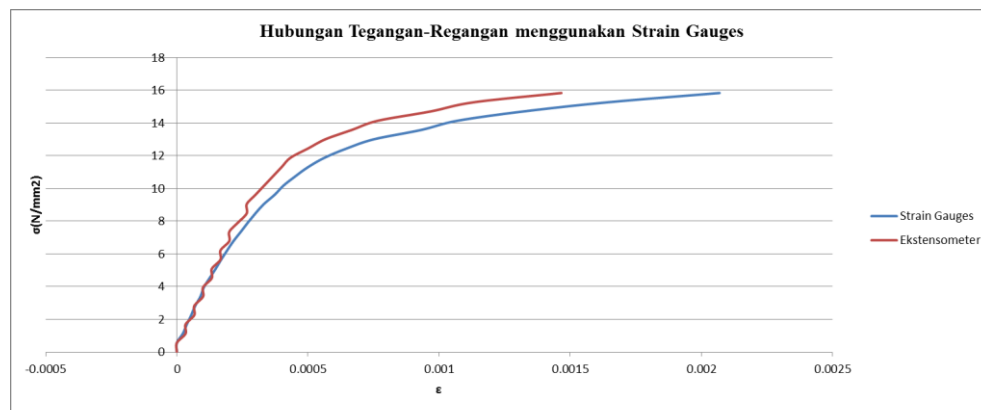
Tabel L.15 Tabulasi Hasil Eksperimen

Nomer Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji kg	Berat Isi ton/mm ³	Target Mutu, σ Mpa	Hasil Eksperimen		Beban Maksimum, P (N)	Modulus Elastisitas, E (Mpa)	Poisson's Ratio, ν	Keterangan
	Diameter mm	Tinggi mm				Tegangan, σ (Mpa)	Regangan, ϵ				
20-I	150	300	13	0.00000000245	20	15.84	0.00207	280000	31368	0.21	-
20-III	150	300	13.15	0.00000000248		14.71	0.00150	260000	12174	0.21	
20-IV	150	300	12.8	0.00000000241		12.47	0.00183	230000	22001	0.15	
25-I	150	300	13	0.00000000245	25	21.49	0.00179	380000	36736	0.22	-
25-II	150	300	13	0.00000000245		20.93	0.00168	370000	24134	0.16	
25-III	150	300	13.15	0.00000000248		20.93	0.00133	380000	20833	0.20	
30-I	150	300	13	0.00000000249	30	20.93	0.00033	380000	21502	0.18	Alat strainmeter pada arah horizontal tidak terbaca
30-II	150	300	13.3	0.00000000251		16.40	0.00056	370000	36468	0.17	-
30-III	150	300	13.25	0.00000000250		35.64	0.00118	660000	28057	0.18	Alat strainmeter pada arah horizontal tidak terbaca
35-I	150	300	13	0.00000000247	35	22.63	0.00230	400000	22357	0.18	Pengujian gagal, maka diambil nilai teoritis
35-II	150	300	13.2	0.00000000249		19.23	0.00079	380000	30534	0.30	-
35-III	150	300	13.05	0.00000000246		22.63	0.00158	420000	26533	0.24	-

LAMPIRAN 8 HASIL TEGANGAN REGANGAN

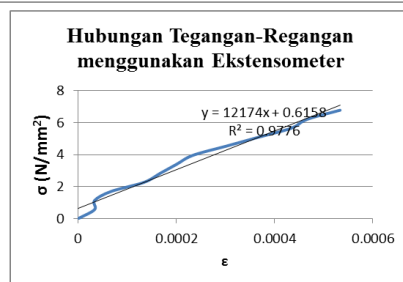
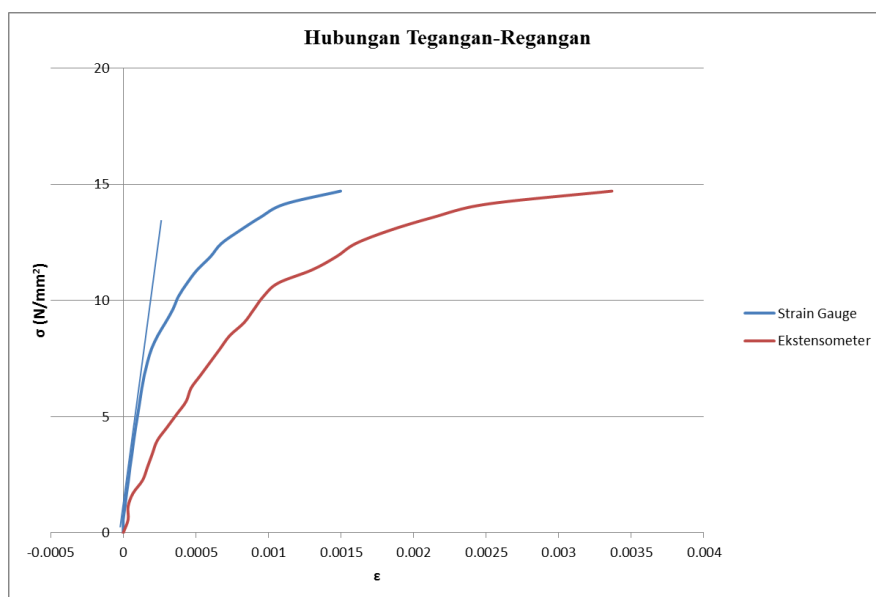
Tabel L.17 Hasil Tegangan-Regangan 20 MPa (1)

Data :	L =	300 mm	diameter =	150 mm								
	$\mu =$	1E-06 mm										
Luas (mm ²) $A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Strain Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio
			$\sigma = P/A$	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial}	$\epsilon_{\text{lateral}}$ (μm)	$\epsilon_{\text{lateral}}$ (μm)	$\epsilon_{\text{lateral}}$	Δl (mm)	ϵ	$\nu = \epsilon_{\text{lateral}} / \epsilon_{\text{aksial}}$
17678.57143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17678.57143	10	10000	0.566	294	0	0	-570	0	0	0	0	0
17678.57143	20	20000	1.131	271	23	0.000023	-565	5	0.000005	0.01	3.33E-05	0.217391304
17678.57143	30	30000	1.697	256	38	0.000038	-561	9	0.000009	0.01	3.33E-05	0.236842105
17678.57143	40	40000	2.263	239	55	0.000055	-558	12	0.000012	0.02	6.67E-05	0.218181818
17678.57143	50	50000	2.828	224	70	0.000070	-554	16	0.000016	0.02	6.67E-05	0.228571429
17678.57143	60	60000	3.394	204	90	0.000090	-551	19	0.000019	0.03	0.0001	0.211111111
17678.57143	70	70000	3.960	191	103	0.000103	-548	22	0.000022	0.03	0.0001	0.213592233
17678.57143	80	80000	4.525	169	125	0.000125	-545	25	0.000025	0.04	0.000133	0.2
17678.57143	90	90000	5.091	146	148	0.000148	-541	29	0.000029	0.04	0.000133	0.195945946
17678.57143	100	100000	5.657	125	169	0.000169	-538	32	0.000032	0.05	0.000167	0.189349112
17678.57143	110	110000	6.222	102	192	0.000192	-534	36	0.000036	0.05	0.000167	0.1875
17678.57143	120	120000	6.788	78	216	0.000216	-530	40	0.000040	0.06	0.0002	Rata2 = 0,21
17678.57143	130	130000	7.354	50	244	0.000244	-527	43	0.000043	0.06	0.0002	
17678.57143	140	140000	7.919	23	271	0.000271	-524	46	0.000046	0.07	0.000233	
17678.57143	150	150000	8.485	-6	300	0.0003	-520	50	0.000050	0.08	0.000267	
17678.57143	160	160000	9.051	-38	332	0.000332	-516	54	0.000054	0.08	0.000267	
17678.57143	170	170000	9.616	-79	373	0.000373	-511	59	0.000059	0.09	0.0003	
17678.57143	180	180000	10.182	-113	407	0.000407	-507	63	0.000063	0.1	0.000333	
17678.57143	190	190000	10.747	-158	452	0.000452	-502	68	0.000068	0.11	0.000367	
17678.57143	200	200000	11.313	-207	501	0.000501	-497	73	0.000073	0.12	0.0004	
17678.57143	210	210000	11.879	-269	563	0.000563	-492	78	0.000078	0.13	0.000433	
17678.57143	220	220000	12.444	-353	647	0.000647	-483	87	0.000087	0.15	0.0005	
17678.57143	230	230000	13.010	-458	752	0.000752	-460	110	0.000110	0.17	0.000567	
17678.57143	240	240000	13.576	-637	931	0.000931	-398	172	0.000172	0.2	0.000667	
17678.57143	250	250000	14.141	-776	1070	0.001070	-323	247	0.000247	0.23	0.000767	
17678.57143	260	260000	14.707	-1026	1320	0.001320	71	641	0.000641	0.29	0.000967	
17678.57143	270	270000	15.273	-1351	1645	0.001645	370	940	0.000940	0.34	0.001133	
17678.57143	280	280000	15.838	-1776	2070	0.002070	1941	2511	0.002511	0.44	0.001467	



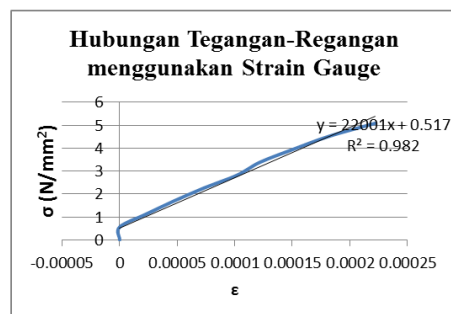
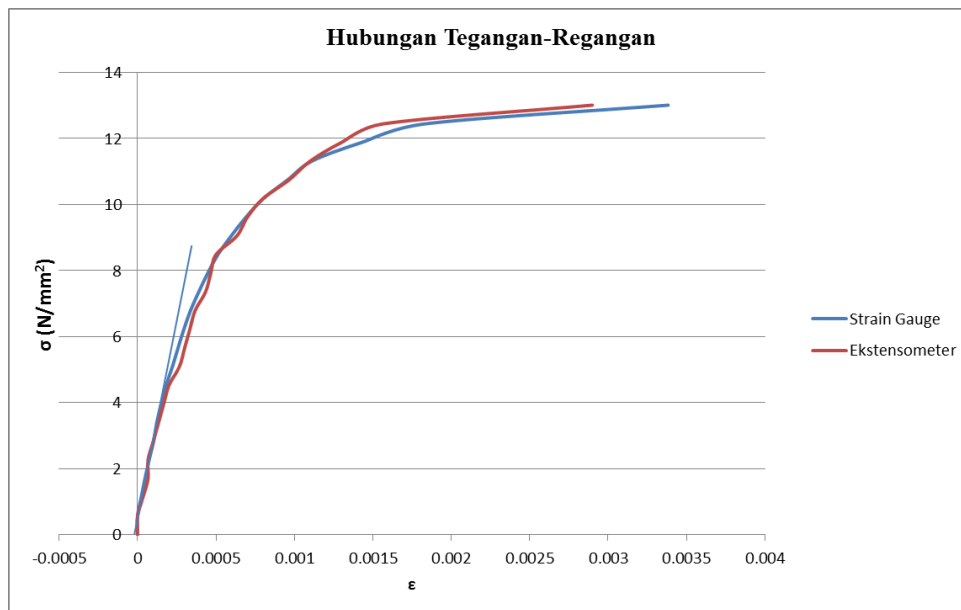
Tabel L.18 Hasil Tegangan-Regangan 20 MPa (3)

Luas (mm ²) $A=1/4\pi d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa) $\sigma = P/A$	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $\nu = \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
				ϵ_{Lu_y} (μm)	ϵ_{aksial} (μm)	ϵ_{aksial}	ϵ_{Lu_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	
17678.571	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17678.571	10	10000	0.5656566	-250	0	0	1964	0	0	0.01	3.3333E-05	#DIV/0!
17678.571	20	20000	1.1313131	-262	12	0.000012	1967	3	0.000003	0.01	3.3333E-05	0.25
17678.571	30	30000	1.6969697	-273	23	0.000023	1969	5	0.000005	0.02	6.6667E-05	0.217391304
17678.571	40	40000	2.2626263	-286	36	0.000036	1972	8	0.000008	0.04	0.00013333	0.222222222
17678.571	50	50000	2.8282828	-297	47	0.000047	1974	10	0.00001	0.05	0.00016667	0.212765957
17678.571	60	60000	3.3939394	-310	60	0.00006	1977	13	0.000013	0.06	0.0002	0.216666667
17678.571	70	70000	3.959596	-322	72	0.000072	1980	16	0.000016	0.07	0.00023333	0.222222222
17678.571	80	80000	4.5252525	-335	85	0.000085	1982	18	0.000018	0.09	0.0003	0.211764706
17678.571	90	90000	5.0909091	-350	100	0.0001	1985	21	0.000021	0.11	0.00036667	0.21
17678.571	100	100000	5.6565657	-364	114	0.000114	1987	23	0.000023	0.13	0.00043333	0.201754386
17678.571	110	110000	6.2222222	-378	128	0.000128	1988	24	0.000024	0.14	0.00046667	0.1875
17678.571	120	120000	6.7878788	-395	145	0.000145	1989	25	0.000025	0.16	0.00053333	0.172413793
17678.571	130	130000	7.3535354	-417	167	0.000167	1988	24	0.000024	0.18	0.0006	rata-rata = 0,21
17678.571	140	140000	7.9191919	-445	195	0.000195	1986	22	0.000022	0.2	0.00066667	
17678.571	150	150000	8.4848485	-487	237	0.000237	1987	23	0.000023	0.22	0.00073333	
17678.571	160	160000	9.0505051	-541	291	0.000291	2011	47	0.000047	0.25	0.00083333	
17678.571	170	170000	9.6161616	-592	342	0.000342	2117	153	0.000153	0.27	0.0009	
17678.571	180	180000	10.181818	-631	381	0.000381	2277	313	0.000313	0.29	0.00096667	
17678.571	190	190000	10.747475	-690	440	0.00044	2493	529	0.000529	0.32	0.00106667	
17678.571	200	200000	11.313131	-759	509	0.000509	2779	815	0.000815	0.39	0.0013	
17678.571	210	210000	11.878788	-850	600	0.0006	3051	1087	0.001087	0.44	0.00146667	
17678.571	220	220000	12.444444	-925	675	0.000675	3319	1355	0.001355	0.48	0.0016	
17678.571	230	230000	13.010101	-1053	803	0.000803	3672	1708	0.001708	0.55	0.00183333	
17678.571	240	240000	13.575758	-1194	944	0.000944	4171	2207	0.002207	0.64	0.00213333	
17678.571	250	250000	14.141414	-1359	1109	0.001109	4745	2781	0.002781	0.75	0.0025	
17678.571	260	260000	14.707071	-1747	1497	0.001497	6433	4469	0.004469	1.01	0.00336667	



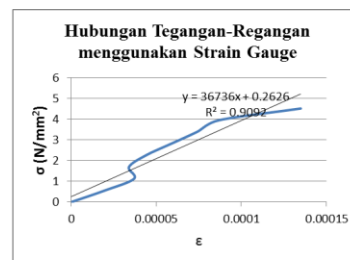
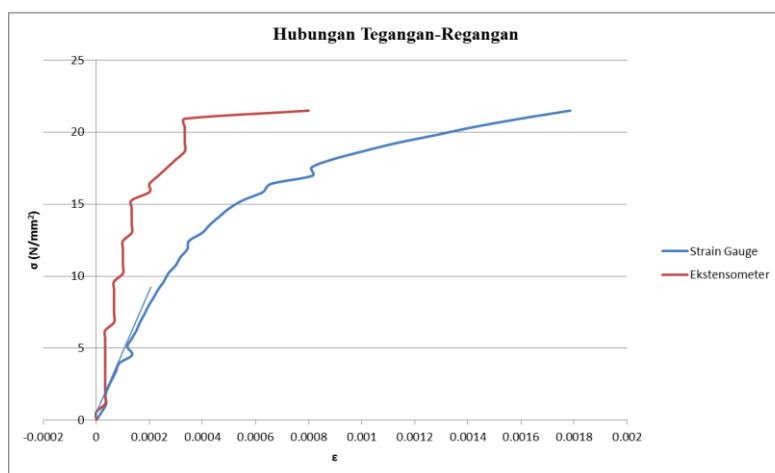
Tabel L.19 Hasil Tegangan-Regangan 20 MPa (4)

Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio
			$\sigma = P/A$	L_{u_y} (μm)	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial}	L_{u_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	$\nu = \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
17678.57143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17678.57143	10	10000	0.5656566	1924	0	0	364	0	0	0	0	#DIV/0!
17678.57143	20	20000	1.1313131	1901	23	0.000023	369	5	0.000005	0.01	3.3E-05	0.217391304
17678.57143	30	30000	1.6969697	1877	47	0.000047	373	9	0.000009	0.02	6.7E-05	0.191489362
17678.57143	40	40000	2.2626263	1851	73	0.000073	375	11	0.000011	0.02	6.7E-05	0.150684932
17678.57143	50	50000	2.8282828	1822	102	0.000102	378	14	0.000014	0.03	0.0001	0.137254902
17678.57143	60	60000	3.3939394	1802	122	0.000122	381	17	0.000017	0.04	0.00013	0.139344262
17678.57143	70	70000	3.959596	1773	151	0.000151	384	20	0.00002	0.05	0.00017	0.132450331
17678.57143	80	80000	4.5252525	1742	182	0.000182	387	23	0.000023	0.06	0.0002	0.126373626
17678.57143	90	90000	5.0909091	1702	222	0.000222	390	26	0.000026	0.08	0.00027	0.117117117
17678.57143	100	100000	5.6565657	1666	258	0.000258	394	30	0.00003	0.09	0.0003	Rata-rata = 0,15
17678.57143	110	110000	6.2222222	1629	295	0.000295	396	32	0.000032	0.1	0.00033	
17678.57143	120	120000	6.7878788	1587	337	0.000337	398	34	0.000034	0.11	0.00037	
17678.57143	130	130000	7.3535354	1534	390	0.00039	402	38	0.000038	0.13	0.00043	
17678.57143	140	140000	7.9191919	1477	447	0.000447	405	41	0.000041	0.14	0.00047	
17678.57143	150	150000	8.4848485	1412	512	0.000512	406	42	0.000042	0.15	0.0005	
17678.57143	160	160000	9.0505051	1327	597	0.000597	407	43	0.000043	0.19	0.00063	
17678.57143	170	170000	9.6161616	1233	691	0.000691	408	44	0.000044	0.21	0.0007	
17678.57143	180	180000	10.181818	1122	802	0.000802	405	41	0.000041	0.24	0.0008	
17678.57143	190	190000	10.747475	967	957	0.000957	400	36	0.000036	0.29	0.00097	
17678.57143	200	200000	11.313131	813	1111	0.001111	398	34	0.000034	0.33	0.0011	
17678.57143	210	210000	11.878788	496	1428	0.001428	399	35	0.000035	0.39	0.0013	
17678.57143	220	220000	12.444444	90	1834	0.001834	410	46	0.000046	0.47	0.00157	
17678.57143	230	230000	13.010101	-1460	3384	0.003384	3473	3109	0.003109	0.87	0.0029	



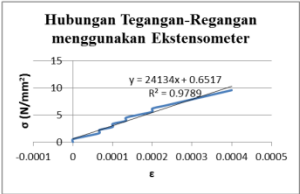
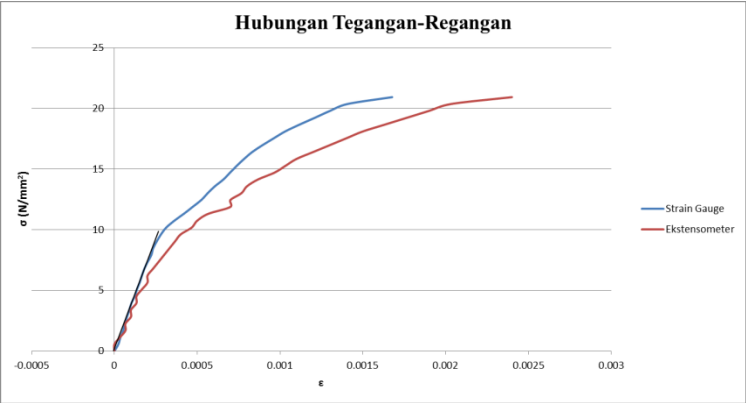
Tabel L.20 Hasil Tegangan-Regangan 25 MPa (1)

Data :	L =	300	$\epsilon_{\mu 0} =$	294								
	$\mu =$	1E-06	diameter =	150 mm								
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $U= \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	L_{u_x} (μm)	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial}	L_{u_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	
17678.5714	0	0	0.000	2346	0	0	-672	0	0	0	0	#DIV/0!
17678.5714	10	10000	0.566	2326	20	0.00002	-668	4	0.000004	0	0	0.2
17678.5714	20	20000	1.131	2309	37	0.000037	-663	9	0.000009	0.01	3.33333E-05	0.243243243
17678.5714	30	30000	1.697	2312	34	0.000034	-664	8	0.000008	0.01	3.33333E-05	0.235294118
17678.5714	40	40000	2.263	2302	44	0.000044	-661	11	0.000011	0.01	3.33333E-05	0.25
17678.5714	50	50000	2.828	2287	59	0.000059	-658	14	0.000014	0.01	3.33333E-05	0.237288136
17678.5714	60	60000	3.394	2272	74	0.000074	-656	16	0.000016	0.01	3.33333E-05	0.216216216
17678.5714	70	70000	3.960	2259	87	0.000087	-653	19	0.000019	0.01	3.33333E-05	0.218390805
17678.5714	80	80000	4.525	2211	135	0.000135	-651	21	0.000021	0.01	3.33333E-05	0.155555556
17678.5714	90	90000	5.091	2229	117	0.000117	-648	24	0.000024	0.01	3.33333E-05	Rata-rata = 0,2
17678.5714	100	100000	5.657	2213	133	0.000133	-645	27	0.000027	0.01	3.33333E-05	
17678.5714	110	110000	6.222	2195	151	0.000151	-642	30	0.000030	0.01	3.33333E-05	
17678.5714	120	120000	6.788	2182	164	0.000164	-640	32	0.000032	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	130	130000	7.354	2165	181	0.000181	-638	34	0.000034	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	140	140000	7.919	2150	196	0.000196	-635	37	0.000037	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	150	150000	8.485	2131	215	0.000215	-632	40	0.000040	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	160	160000	9.051	2114	232	0.000232	-629	43	0.000043	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	170	170000	9.616	2092	254	0.000254	-626	46	0.000046	0.02	6.66667E-05	
17678.5714	180	180000	10.182	2075	271	0.000271	-623	49	0.000049	0.03	0.0001	
17678.5714	190	190000	10.747	2047	299	0.000299	-620	52	0.000052	0.03	0.0001	
17678.5714	200	200000	11.313	2029	317	0.000317	-612	60	0.000060	0.03	0.0001	
17678.5714	210	210000	11.879	2003	343	0.000343	-614	58	0.000058	0.03	0.0001	
17678.5714	220	220000	12.444	1997	349	0.000349	-611	61	0.000061	0.03	0.0001	
17678.5714	230	230000	13.010	1947	399	0.000399	-607	65	0.000065	0.04	0.000133333	
17678.5714	240	240000	13.576	1918	428	0.000428	-603	69	0.000069	0.04	0.000133333	
17678.5714	250	250000	14.141	1882	464	0.000464	-598	74	0.000074	0.04	0.000133333	
17678.5714	260	260000	14.707	1845	501	0.000501	-593	79	0.000079	0.04	0.000133333	
17678.5714	270	270000	15.273	1793	553	0.000553	-583	89	0.000089	0.04	0.000133333	
17678.5714	280	280000	15.838	1718	628	0.000628	-572	100	0.0001	0.06	0.0002	
17678.5714	290	290000	16.404	1688	658	0.000658	-556	116	0.000116	0.06	0.0002	
17678.5714	300	300000	16.970	1532	814	0.000814	-536	136	0.000136	0.07	0.000233333	
17678.5714	310	310000	17.535	1536	810	0.00081	-439	233	0.000233	0.08	0.000266667	
17678.5714	320	320000	18.101	1457	889	0.000889	-467	205	0.000205	0.09	0.0003	
17678.5714	330	330000	18.667	1341	1005	0.001005	-376	296	0.000296	0.1	0.000333333	
17678.5714	340	340000	19.232	1217	1129	0.001129	-261	411	0.000411	0.1	0.000333333	
17678.5714	350	350000	19.798	1066	1280	0.00128	-90	582	0.000582	0.1	0.000333333	
17678.5714	360	360000	20.364	921	1425	0.001425	96	768	0.000768	0.1	0.000333333	
17678.5714	370	370000	20.929	750	1596	0.001596	340	1012	0.001012	0.1	0.000333333	
17678.5714	380	380000	21.495	560	1786	0.001786	699	1371	0.001371	0.24	0.0008	



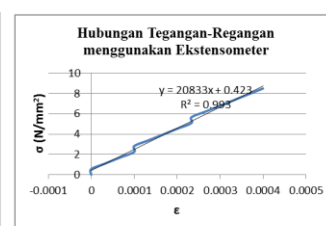
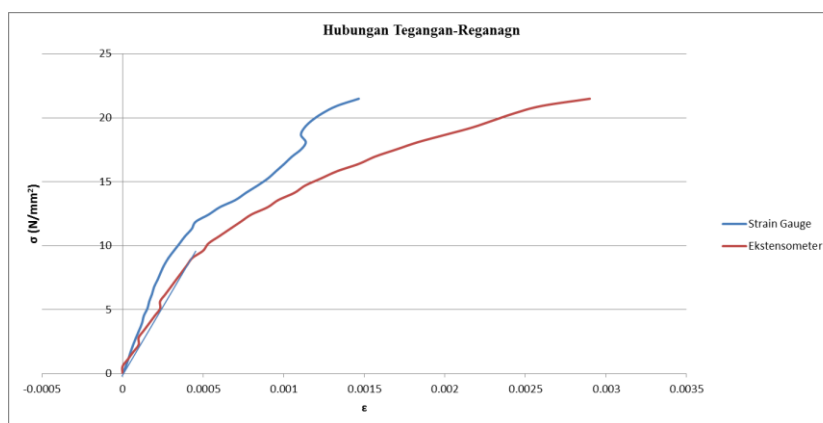
Tabel L.21 Hasil Tegangan-Regangan 25 MPa (2)

Data :	L =	300	$\epsilon\mu\sigma =$	294								
	$\mu =$	1E-06	diameter =	150 mm								
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $U= \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	L_{u_y} (μm)	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial}	L_{u_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	
17678.5714	0	0	0	1915	0	0	145	0	0	0	0	0
17678.5714	10	10000	0.566	1891	24	0.000024	147	2	0.000002	0	0	0.083333333
17678.5714	20	20000	1.131	1879	36	0.000036	150	5	0.000005	0.01	3.3E-05	0.138888889
17678.5714	30	30000	1.697	1862	53	0.000053	153	8	0.000008	0.02	6.7E-05	0.150943396
17678.5714	40	40000	2.263	1852	63	0.000063	155	10	0.00001	0.02	6.7E-05	0.158730159
17678.5714	50	50000	2.828	1839	76	0.000076	159	14	0.000014	0.03	0.0001	0.184210526
17678.5714	60	60000	3.394	1825	90	0.00009	161	16	0.000016	0.03	0.0001	0.177777778
17678.5714	70	70000	3.960	1812	103	0.000103	164	19	0.000019	0.04	0.00013	0.184466019
17678.5714	80	80000	4.525	1792	123	0.000123	168	23	0.000023	0.04	0.00013	0.18699187
17678.5714	90	90000	5.091	1779	136	0.000136	171	26	0.000026	0.05	0.00017	0.191176471
17678.5714	100	100000	5.657	1762	153	0.000153	173	28	0.000028	0.06	0.0002	0.183006536
17678.5714	110	110000	6.222	1749	166	0.000166	177	32	0.000032	0.06	0.0002	0.192771084
17678.5714	120	120000	6.788	1734	181	0.000181	179	34	0.000034	0.07	0.00023	0.187845304
17678.5714	130	130000	7.354	1714	201	0.000201	180	35	0.000035	0.08	0.00027	0.174129353
17678.5714	140	140000	7.919	1692	223	0.000223	178	33	0.000033	0.09	0.0003	0.147982063
17678.5714	150	150000	8.485	1681	234	0.000234	176	31	0.000031	0.1	0.00033	0.132478632
17678.5714	160	160000	9.051	1659	256	0.000256	173	28	0.000028	0.11	0.00037	0.109375
17678.5714	170	170000	9.616	1634	281	0.000281	169	24	0.000024	0.12	0.0004	0.085409253
17678.5714	180	180000	10.182	1602	313	0.000313	168	23	0.000023	0.14	0.00047	Rata-rata= 0,15
17678.5714	190	190000	10.747	1553	362	0.000362	170	25	0.000025	0.15	0.0005	
17678.5714	200	200000	11.313	1496	419	0.000419	169	24	0.000024	0.17	0.00057	
17678.5714	210	210000	11.879	1443	472	0.000472	170	25	0.000025	0.21	0.0007	
17678.5714	220	220000	12.444	1391	524	0.000524	170	25	0.000025	0.21	0.0007	
17678.5714	230	230000	13.010	1352	563	0.000563	169	24	0.000024	0.23	0.00077	
17678.5714	240	240000	13.576	1309	606	0.000606	167	22	0.000022	0.24	0.0008	
17678.5714	250	250000	14.141	1257	658	0.000658	165	20	0.00002	0.26	0.00087	
17678.5714	260	260000	14.707	1217	698	0.000698	164	19	0.000019	0.29	0.00097	
17678.5714	270	270000	15.273	1176	739	0.000739	159	14	0.000014	0.31	0.00103	
17678.5714	280	280000	15.838	1132	783	0.000783	155	10	0.00001	0.33	0.0011	
17678.5714	290	290000	16.404	1083	832	0.000832	155	10	0.00001	0.36	0.0012	
17678.5714	300	300000	16.970	1021	894	0.000894	164	19	0.000019	0.39	0.0013	
17678.5714	310	310000	17.535	953	962	0.000962	182	37	0.000037	0.42	0.0014	
17678.5714	320	320000	18.101	884	1031	0.001031	204	59	0.000059	0.45	0.0015	
17678.5714	330	330000	18.667	797	1118	0.001118	257	112	0.000112	0.49	0.00163	
17678.5714	340	340000	19.232	704	1211	0.001211	332	187	0.000187	0.53	0.00177	
17678.5714	350	350000	19.798	613	1302	0.001302	450	305	0.000305	0.57	0.0019	
17678.5714	360	360000	20.364	507	1408	0.001408	525	380	0.00038	0.61	0.00203	
17678.5714	370	370000	20.929	238	1677	0.001677	240	95	0.000095	0.72	0.0024	



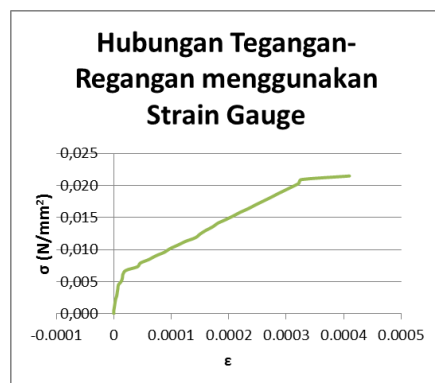
Tabel L.22 Hasil Tegangan-Regangan 25 MPa (2)

Data :	L =	300	diameter =	150 mm								
	$\mu =$	1E-06										
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $\nu = \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	L_{u_y} (μm)	ϵ_{aksial} (μm)	ϵ_{aksial}	L_{u_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	
17678.5714	0	0	0	1681	0	0	173	0	0	0	0	#DIV/0!
17678.5714	10	10000	0.566	1661	20	0.00002	179	6	0.000006	0	0	0.3
17678.5714	20	20000	1.131	1645	36	0.000036	183	10	0.00001	0.01	3.33E-05	0.2777777778
17678.5714	30	30000	1.697	1631	50	0.00005	188	15	0.000015	0.02	6.67E-05	0.3
17678.5714	40	40000	2.263	1615	66	0.000066	192	19	0.000019	0.03	0.0001	0.287878788
17678.5714	50	50000	2.828	1597	84	0.000084	197	24	0.000024	0.03	0.0001	0.285714286
17678.5714	60	60000	3.394	1578	103	0.000103	202	29	0.000029	0.04	0.000133	0.281553398
17678.5714	70	70000	3.960	1560	121	0.000121	208	35	0.000035	0.05	0.000167	0.289256198
17678.5714	80	80000	4.525	1549	132	0.000132	212	39	0.000039	0.06	0.0002	0.295454545
17678.5714	90	90000	5.091	1527	154	0.000154	217	44	0.000044	0.07	0.000233	0.285714286
17678.5714	100	100000	5.657	1515	166	0.000166	220	47	0.000047	0.07	0.000233	0.28313253
17678.5714	110	110000	6.222	1498	183	0.000183	226	53	0.000053	0.08	0.000267	0.289617486
17678.5714	120	120000	6.788	1485	196	0.000196	230	57	0.000057	0.09	0.0003	0.290816327
17678.5714	130	130000	7.354	1463	218	0.000218	234	61	0.000061	0.1	0.000333	0.279816514
17678.5714	140	140000	7.919	1444	237	0.000237	238	65	0.000065	0.11	0.000367	0.274261603
17678.5714	150	150000	8.485	1423	258	0.000258	242	69	0.000069	0.12	0.0004	0.26744186
17678.5714	160	160000	9.051	1396	285	0.000285	246	73	0.000073	0.13	0.000433	Rata-rata = 0,28
17678.5714	170	170000	9.616	1362	319	0.000319	250	77	0.000077	0.15	0.0005	
17678.5714	180	180000	10.182	1327	354	0.000354	253	80	0.00008	0.16	0.000533	
17678.5714	190	190000	10.747	1293	388	0.000388	257	84	0.000084	0.18	0.0006	
17678.5714	200	200000	11.313	1252	429	0.000429	262	89	0.000089	0.2	0.000667	
17678.5714	210	210000	11.879	1227	454	0.000454	269	96	0.000096	0.22	0.000733	
17678.5714	220	220000	12.444	1146	535	0.000535	277	104	0.000104	0.24	0.0008	
17678.5714	230	230000	13.010	1078	603	0.000603	286	113	0.000113	0.27	0.0009	
17678.5714	240	240000	13.576	981	700	0.0007	299	126	0.000126	0.29	0.000967	
17678.5714	250	250000	14.141	915	766	0.000766	312	139	0.000139	0.32	0.001067	
17678.5714	260	260000	14.707	843	838	0.000838	328	155	0.000155	0.34	0.001133	
17678.5714	270	270000	15.273	778	903	0.000903	347	174	0.000174	0.37	0.001233	
17678.5714	280	280000	15.838	728	953	0.000953	362	189	0.000189	0.4	0.001333	
17678.5714	290	290000	16.404	677	1004	0.001004	392	219	0.000219	0.44	0.001467	
17678.5714	300	300000	16.970	630	1051	0.001051	436	263	0.000263	0.47	0.001567	
17678.5714	310	310000	17.535	573	1108	0.001108	522	349	0.000349	0.51	0.0017	
17678.5714	320	320000	18.101	544	1137	0.001137	592	419	0.000419	0.55	0.001833	
17678.5714	330	330000	18.667	574	1107	0.001107	636	463	0.000463	0.6	0.002	
17678.5714	340	340000	19.232	552	1129	0.001129	714	541	0.000541	0.65	0.002167	
17678.5714	350	350000	19.798	506	1175	0.001175	843	670	0.00067	0.69	0.0023	
17678.5714	360	360000	20.364	440	1241	0.001241	1011	838	0.000838	0.73	0.002433	
17678.5714	370	370000	20.929	352	1329	0.001329	1327	1154	0.001154	0.78	0.0026	
17678.5714	380	380000	21.495	215	1466	0.001466	1982	1809	0.001809	0.87	0.0029	



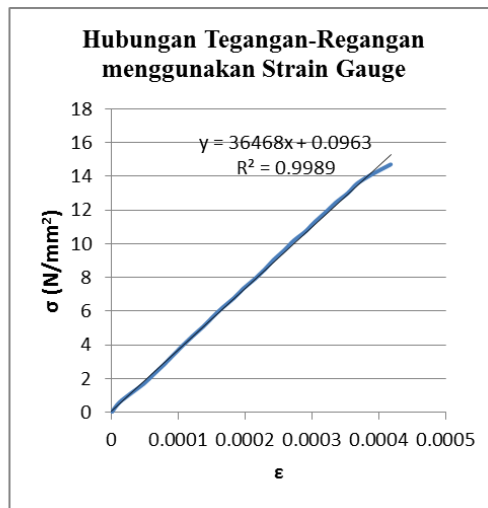
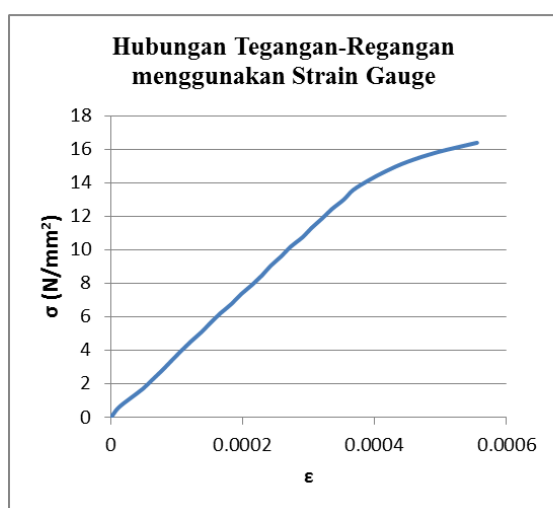
Tabel L.23 Hasil Tegangan-Regangan 30 MPa (1)

Data :	L =	300	$\epsilon_{\mu 0} =$	294								
	$\mu =$	1E-06	diameter =	150 mm								
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $\nu = \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	$\epsilon_{Lu_y} (\mu m)$	$\epsilon_{axial} (\mu m)$	ϵ_{axial}	$\epsilon_{Lu_x} (\mu m)$	$\epsilon_{lateral} (\mu m)$	$\epsilon_{lateral}$	$\Delta l (mm)$	ϵ	
17678.5714	0	0	0.000	0	0	0	0	0	0	0		0.00
17678.5714	10	10000	0.566	141	0	0	1857	0	0	0		0.00
17678.5714	20	20000	1.131	140	1	0.000001	1859	2	0.000002	0		2.00
17678.5714	30	30000	1.697	139	2	0.000002	1860	3	0.000003	0		1.50
17678.5714	40	40000	2.263	138	3	0.000003	1859	2	0.000002	0		0.67
17678.5714	50	50000	2.828	136	5	0.000005	1859	2	0.000002	0		0.40
17678.5714	60	60000	3.394	135	6	0.000006	1859	2	0.000002	0		0.33
17678.5714	70	70000	3.960	134	7	0.000007	1859	2	0.000002	0		0.29
17678.5714	80	80000	4.525	133	8	0.000008	1860	3	0.000003	0		0.38
17678.5714	90	90000	5.091	128	13	0.000013	1860	3	0.000003	0		0.23
17678.5714	100	100000	5.657	126	15	0.000015	1862	5	0.000005	0		0.33
17678.5714	110	110000	6.222	125	16	0.000016	1862	5	0.000005	0		0.31
17678.5714	120	120000	6.788	120	21	0.000021	1863	6	0.000006	0		0.29
17678.5714	130	130000	7.354	100	41	0.000041	1864	7	0.000007	0		0.17
17678.5714	140	140000	7.919	95	46	0.000046				0		Digunakan ratio teoritis = 0,18
17678.5714	150	150000	8.485	80	61	0.000061				0		
17678.5714	160	160000	9.051	68	73	0.000073				0		
17678.5714	170	170000	9.616	53	88	0.000088				0		
17678.5714	180	180000	10.182	43	98	0.000098				0		
17678.5714	190	190000	10.747	29	112	0.000112				0		
17678.5714	200	200000	11.313	16	125	0.000125				0		
17678.5714	210	210000	11.879	-1	142	0.000142				0.01		
17678.5714	220	220000	12.444	-9	150	0.00015				0.01		
17678.5714	230	230000	13.010	-19	160	0.00016				0.01		
17678.5714	240	240000	13.576	-31	172	0.000172				0.01		
17678.5714	250	250000	14.141	-40	181	0.000181				0.01		
17678.5714	260	260000	14.707	-54	195	0.000195				0.01		
17678.5714	270	270000	15.273	-67	208	0.000208				0.01		
17678.5714	280	280000	15.838	-79	220	0.00022				0.01		
17678.5714	290	290000	16.404	-93	234	0.000234				0.01		
17678.5714	300	300000	16.970	-105	246	0.000246				0.01		
17678.5714	310	310000	17.535	-118	259	0.000259				0.01		
17678.5714	320	320000	18.101	-131	272	0.000272				0.02		
17678.5714	330	330000	18.667	-143	284	0.000284				0.02		
17678.5714	340	340000	19.232	-156	297	0.000297				0.02		
17678.5714	350	350000	19.798	-169	310	0.00031				0.02		
17678.5714	360	360000	20.364	-181	322	0.000322				0.02		
17678.5714	370	370000	20.929	-185	326	0.000326				0.02		
17678.5714	380	380000	21.495	-269	410	0.00041				0.02		



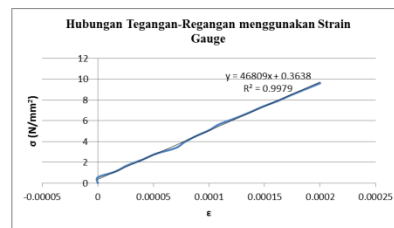
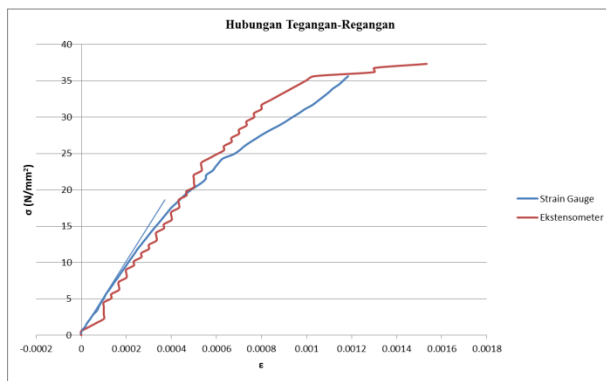
Tabel L.24 Hasil Tegangan-Regangan 30 MPa (2)

Data :	L =	300	$\epsilon_{\mu 0}$ =	294									
	μ =	1E-06	diameter =	150 mm									
Luas (mm2) A=1/4* π *d^2	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio U= $\epsilon_{\text{lateral}} / \epsilon_{\text{aksial}}$	
			σ = P/A	L_{y_1} (μ m)	ϵ_{axial} (μ m)	ϵ_{axial}	L_{x_1} (μ m)	$\epsilon_{\text{lateral}}$ (μ m)	$\epsilon_{\text{lateral}}$	Δl (mm)	ϵ		
17678.57143	0	0	0	-182	0	0	2494	0	0	0	0	#DIV/0!	
17678.57143	10	10000	0.565657	-193	11	0.000011	2495	1	0.000001	0	0	0.090909091	
17678.57143	20	20000	1.131313	-211	29	0.000029	2499	5	0.000005	0	0	0.172413793	
17678.57143	30	30000	1.69697	-230	48	0.000048	2502	8	0.000008	0.01	3.3E-05	0.166666667	
17678.57143	40	40000	2.262626	-245	63	0.000063	2505	11	0.000011	0.01	3.3E-05	0.174603175	
17678.57143	50	50000	2.828283	-260	78	0.000078	2508	14	0.000014	0.01	3.3E-05	0.179487179	
17678.57143	60	60000	3.393939	-274	92	0.000092	2511	17	0.000017	0.01	3.3E-05	0.184782609	
17678.57143	70	70000	3.959596	-288	106	0.000106	2513	19	0.000019	0.02	6.7E-05	0.179245283	
17678.57143	80	80000	4.525253	-303	121	0.000121	2513	19	0.000019	0.02	6.7E-05	0.157024793	
17678.57143	90	90000	5.090909	-319	137	0.000137	2520	26	0.000026	0.02	6.7E-05	0.189781022	
17678.57143	100	100000	5.656566	-333	151	0.000151	2523	29	0.000029	0.02	6.7E-05	0.19205298	
17678.57143	110	110000	6.222222	-348	166	0.000166	2526	32	0.000032	0.03	0.0001	0.192771084	
17678.57143	120	120000	6.787879	-365	183	0.000183	2529	35	0.000035	0.03	0.0001	0.191256831	
17678.57143	130	130000	7.353535	-379	197	0.000197	2532	38	0.000038	0.03	0.0001	0.192893401	
17678.57143	140	140000	7.919192	-396	214	0.000214	2535	41	0.000041	0.03	0.0001	0.191588785	
17678.57143	150	150000	8.484848	-411	229	0.000229	2538	44	0.000044	0.04	0.00013	0.192139738	
17678.57143	160	160000	9.050505	-424	242	0.000242	2540	46	0.000046	0.04	0.00013	0.190082645	
17678.57143	170	170000	9.616162	-440	258	0.000258	2543	49	0.000049	0.04	0.00013	0.189922481	
17678.57143	180	180000	10.18182	-454	272	0.000272	2546	52	0.000052	0.04	0.00013	0.191176471	
17678.57143	190	190000	10.74747	-472	290	0.00029	2549	55	0.000055	0.04	0.00013	0.189655172	
17678.57143	200	200000	11.31313	-486	304	0.000304	2552	58	0.000058	0.05	0.00017	0.190789474	
17678.57143	210	210000	11.87879	-502	320	0.00032	2554	60	0.00006	0.05	0.00017	0.1875	
17678.57143	220	220000	12.44444	-517	335	0.000335	2557	63	0.000063	0.05	0.00017	0.188059701	
17678.57143	230	230000	13.0101	-535	353	0.000353	2559	65	0.000065	0.05	0.00017	0.184135977	
17678.57143	240	240000	13.57576	-549	367	0.000367	2554	60	0.00006	0.05	0.00017	0.163487738	
17678.57143	250	250000	14.14141	-572	390	0.00039	2556	62	0.000062	0.06	0.0002	0.158974359	
17678.57143	260	260000	14.70707	-599	417	0.000417	2511	17	0.000017	0.06	0.0002	0.040767386	
17678.57143	270	270000	15.27273	-632	450	0.00045	2597	103	0.000103	0.06	0.0002		
17678.57143	280	280000	15.83838	-677	495	0.000495	2587	93	0.000093	0.06	0.0002		
17678.57143	290	290000	16.40404	-737	555	0.000555	3414	920	0.00092	0.06	0.0002		
17678.57143	300	300000	16.9697	-553	371	0.000371	7304	4810	0.00481				
17678.57143	310	310000	17.53535	-538	356	0.000356	7951	5457	0.005457				
17678.57143	320	320000	18.10101	-529	347	0.000347	8396	5902	0.005902				
17678.57143	330	330000	18.66667	-525	343	0.000343	8725	6231	0.006231	retak baut			
17678.57143	340	340000	19.23232	-522	340	0.00034	9070	6576	0.006576				
17678.57143	350	350000	19.79798	-524	342	0.000342	9443	6949	0.006949				
17678.57143	360	360000	20.36364	-527	345	0.000345	9676	7182	0.007182				
17678.57143	370	370000	20.92929	-530	348	0.000348	9878	7384	0.007384				



Tabel L.25 Hasil Tegangan-Regangan 30 MPa (3)

Data :	L =	300	$\epsilon_{10} =$	294								
	$\mu =$	1E-06	diameter =	150 mm								
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $\nu = \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	L_{u_y} (μm)	ϵ_{axial} (μm)	ϵ_{axial}	L_{u_x} (μm)	$\epsilon_{lateral}$ (μm)	$\epsilon_{lateral}$	Δl (mm)	ϵ	
17678.57143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17678.57143	10	10000	0.565657	69	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!
17678.57143	20	20000	1.131313	53	16	0.000016	0	0	0	0.01	3.3E-05	0
17678.57143	30	30000	1.69697	43	26	0.000026	0	0	0	0.02	6.7E-05	0
17678.57143	40	40000	2.262626	29	40	0.000040	0	0	0	0.03	0.0001	0
17678.57143	50	50000	2.828283	17	52	0.000052	0	0	0	0.03	0.0001	0
17678.57143	60	60000	3.393939	-1	70	0.000070	0	0	0	0.03	0.0001	0
17678.57143	70	70000	3.959596	-9	78	0.000078	0	0	0	0.03	0.0001	0
17678.57143	80	80000	4.525253	-19	88	0.000088	0	0	0	0.03	0.0001	0
17678.57143	90	90000	5.090909	-31	100	0.000100	0	0	0	0.04	0.00013	0
17678.57143	100	100000	5.656566	-40	109	0.000109	0	0	0	0.04	0.00013	0
17678.57143	110	110000	6.222222	-54	123	0.000123	0	0	0	0.05	0.00017	0
17678.57143	120	120000	6.787879	-67	136	0.000136	0	0	0	0.05	0.00017	0
17678.57143	130	130000	7.353535	-79	148	0.000148	0	0	0	0.05	0.00017	0
17678.57143	140	140000	7.919192	-93	162	0.000162	0	0	0	0.06	0.0002	0
17678.57143	150	150000	8.484848	-105	174	0.000174	0	0	0	0.06	0.0002	0
17678.57143	160	160000	9.050505	-118	187	0.000187	0	0	0	0.06	0.0002	0
17678.57143	170	170000	9.616162	-131	200	0.000200	0	0	0	0.07	0.00023	0
17678.57143	180	180000	10.18182	-143	212	0.000212	0	0	0	0.07	0.00023	0
17678.57143	190	190000	10.74747	-156	225	0.000225	0	0	0	0.08	0.00027	0
17678.57143	200	200000	11.31313	-169	238	0.000238	0	0	0	0.08	0.00027	0
17678.57143	210	210000	11.87879	-181	250	0.000250	0	0	0	0.09	0.0003	0
17678.57143	220	220000	12.44444	-196	265	0.000265	0	0	0	0.09	0.0003	0
17678.57143	230	230000	13.0101	-210	279	0.000279	0	0	0	0.1	0.00033	0
17678.57143	240	240000	13.57576	-225	294	0.000294	0	0	0	0.1	0.00033	0
17678.57143	250	250000	14.14141	-239	308	0.000308	0	0	0	0.1	0.00033	0
17678.57143	260	260000	14.70707	-254	323	0.000323	0	0	0	0.11	0.00037	0
17678.57143	270	270000	15.27273	-270	339	0.000339	0	0	0	0.11	0.00037	0
17678.57143	280	280000	15.83838	-285	354	0.000354	0	0	0	0.12	0.0004	0
17678.57143	290	290000	16.40404	-300	369	0.000369	0	0	0	0.12	0.0004	0
17678.57143	300	300000	16.9697	-315	384	0.000384	0	0	0	0.12	0.0004	0
17678.57143	310	310000	17.53535	-330	399	0.000399	0	0	0	0.13	0.00043	0
17678.57143	320	320000	18.10101	-350	419	0.000419	0	0	0	0.13	0.00043	0
17678.57143	330	330000	18.66667	-369	438	0.000438	0	0	0	0.13	0.00043	0
17678.57143	340	340000	19.23232	-388	457	0.000457	0	0	0	0.14	0.00047	0
17678.57143	350	350000	19.79798	-409	478	0.000478	0	0	0	0.14	0.00047	0
17678.57143	360	360000	20.36364	-435	504	0.000504	0	0	0	0.15	0.0005	0
17678.57143	370	370000	20.92929	-463	532	0.000532	0	0	0	0.15	0.0005	0
17678.57143	380	380000	21.49495	-483	552	0.000552	0	0	0	0.15	0.0005	0
17678.57143	390	390000	22.06061	-486	555	0.000555	0	0	0	0.15	0.0005	0
17678.57143	400	400000	22.62626	-513	582	0.000582	0	0	0	0.16	0.00053	0
17678.57143	410	410000	23.19192	-527	596	0.000596	0	0	0	0.16	0.00053	0
17678.57143	420	420000	23.75758	-542	611	0.000611	0	0	0	0.16	0.00053	0
17678.57143	430	430000	24.32323	-560	629	0.000629	0	0	0	0.17	0.00057	0
17678.57143	440	440000	24.88889	-606	675	0.000675	0	0	0	0.18	0.0006	0
17678.57143	450	450000	25.45455	-634	703	0.000703	20377	20377	0.020377	0.19	0.00063	28.98577525
17678.57143	460	460000	26.0202	-655	724	0.000724	20385	20385	0.020385	0.19	0.00063	28.15607735
17678.57143	470	470000	26.58586	-682	751	0.000751	20390	20390	0.02039	0.2	0.00067	27.15046605
17678.57143	480	480000	27.15152	-711	780	0.000780	20396	20396	0.020396	0.2	0.00067	26.14871795
17678.57143	490	490000	27.71717	-740	809	0.000809	20405	20405	0.020405	0.21	0.0007	25.22249691
17678.57143	500	500000	28.28283	-773	842	0.000842	20418	20418	0.020418	0.21	0.0007	24.24940618
17678.57143	510	510000	28.84848	-808	877	0.000877	20433	20433	0.020433	0.22	0.00073	23.29874572
17678.57143	520	520000	29.41414	-839	908	0.000908	20440	20440	0.02044	0.22	0.00073	22.51101322
17678.57143	530	530000	29.9798	-867	936	0.000936	20444	20444	0.020444	0.23	0.00077	21.84188034
17678.57143	540	540000	30.54545	-897	966	0.000966	20444	20444	0.020444	0.23	0.00077	21.16356108
17678.57143	550	550000	31.11111	-924	993	0.000993	20446	20446	0.020446	0.24	0.0008	20.59013092
17678.57143	560	560000	31.67677	-957	1026	0.001026	20393	20393	0.020393	0.24	0.0008	19.87621832
17678.57143	570	570000	32.24242	-981	1050	0.001050	20379	20379	0.020379	0.25	0.00083	19.40857143
17678.57143	580	580000	32.80808	-1005	1074	0.001074	20370	20370	0.02037	0.26	0.00087	18.96648045
17678.57143	590	590000	33.37374	-1028	1097	0.001097	20372	20372	0.020372	0.27	0.0009	18.57064722
17678.57143	600	600000	33.93939	-1048	1117	0.001117	20370	20370	0.02037	0.28	0.00093	18.23634736
17678.57143	610	610000	34.50505	-1075	1144	0.001144	20370	20370	0.02037	0.29	0.00097	17.80594406
17678.57143	620	620000	35.07071	-1095	1164	0.001164	20371	20371	0.020371	0.3	0.001	17.50085911
17678.57143	630	630000	35.63636	-1115	1184	0.001184	20374	20374	0.020374	0.31	0.00103	17.20777027
17678.57143	640	640000	36.20202	-994	1063	0.001063	20321	20321	0.020321	0.39	0.0013	19.11665099
17678.57143	650	650000	36.76768	-1000	1069	0.001069	12531	12531	0.012531	0.39	0.0013	11.72217025
17678.57143	660	660000	37.33333	-1016	1085	0.001085	12537	12537	0.012537	0.46	0.00153	11.55483871

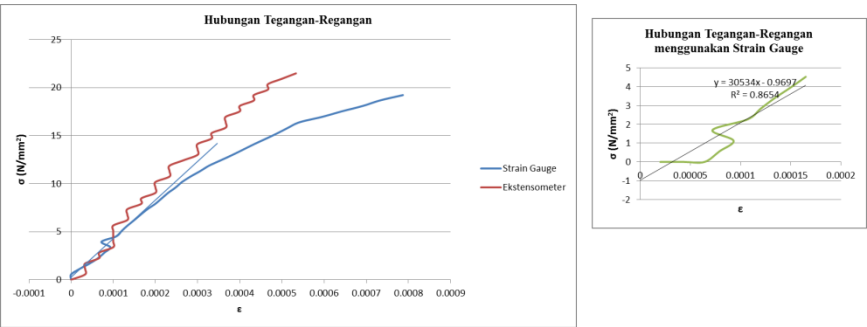


Tabel L.26 Hasil Tegangan-Regangan 35 MPa (1)

Data :	L =	300	$\epsilon_{\mu 0} =$	294	Fail →	berhenti pada beban 400kN dengan regagn =					0.0023		
	$\mu =$	1E-06	diameter =	150 mm							E=	20000	
A (mm2)	P (KN)	P (N)	Tegangan σ (Mpa)	Bacaan vertikal	ϵ (μ m)	Regangan aksial ϵ (m)	Bacaan Horizontal	ϵ (μ m)	Regangan lateral ϵ (m)	E strain gauge	Δl (mm)	ϵ (extensor)	Poisson ratio
17678.6	0	0	0	tidak terbaca dikarenakan kurang pengoperasian compression test	0	0	tidak terbaca dikarenakan kurang pengoperasian compression test	0	0	0	tidak terbaca dikarenakan kurang pengoperasian compression test	0	0
17678.6	10	10000	0.56566		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	20	20000	1.13131		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	30	30000	1.69697		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	40	40000	2.26263		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	50	50000	2.82828		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	60	60000	3.39394		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	70	70000	3.9596		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	80	80000	4.52525		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	90	90000	5.09091		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	100	100000	5.65657		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	110	110000	6.22222		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	120	120000	6.78788		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	130	130000	7.35354		0	0		0	0	#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	140	140000	7.91919		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	150	150000	8.48485		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	160	160000	9.05051		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	170	170000	9.61616		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	180	180000	10.1818		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	190	190000	10.7475		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	200	200000	11.3131		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	210	210000	11.8788		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	220	220000	12.4444		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	230	230000	13.0101		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	240	240000	13.5758		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	250	250000	14.1414		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	260	260000	14.7071		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	270	270000	15.2727		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	280	280000	15.8384		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	290	290000	16.404		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	300	300000	16.9697		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	310	310000	17.5354		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	320	320000	18.101		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	330	330000	18.6667		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	340	340000	19.2323		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	350	350000	19.798		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	360	360000	20.3636		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	370	370000	20.9293		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	380	380000	21.4949		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	390	390000	22.0606		0	0		0		#DIV/0!		0	#REF!
17678.6	400	400000	22.6263	0	0	0		#DIV/0!	0	#REF!			

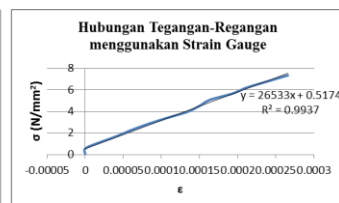
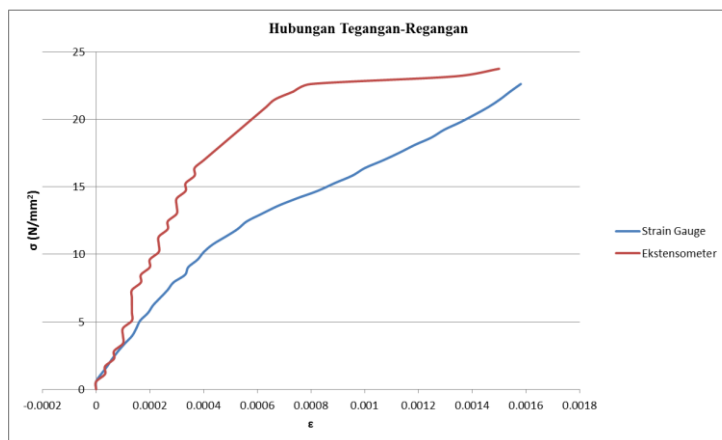
Tabel L.27 Hasil Tegangan-Regangan 35 MPa (2)

Data :	L =	300 mm	diameter =	150 mm								
	μ =	1E-06										
Luas (mm ²) $A=1/4*\pi*d^2$	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio $U= \epsilon_{lateral} / \epsilon_{aksial}$
			$\sigma = P/A$	$\epsilon_{ly} (\mu m)$	$\epsilon_{axial} (\mu m)$	ϵ_{axial}	$\epsilon_{lx} (\mu m)$	$\epsilon_{lateral} (\mu m)$	$\epsilon_{lateral}$	$\Delta l (mm)$	ϵ	
17678.57143	0	0	0	161	0	0	2169	0	0	0	0	0
17678.57143	10	10000	0.5656566	150	0	0	2171	2	0.000002	0.01	3.3E-05	#DIV/0!
17678.57143	20	20000	1.1313131	130	20	0.00002	2176	7	0.000007	0.01	3.3E-05	0.35
17678.57143	30	30000	1.6969697	106	44	0.000044	2181	12	0.000012	0.01	3.3E-05	0.272727273
17678.57143	40	40000	2.2626263	86	64	0.000064	2187	18	0.000018	0.02	6.7E-05	0.28125
17678.57143	50	50000	2.8282828	71	79	0.000079	2191	22	0.000022	0.02	6.7E-05	0.278481013
17678.57143	60	60000	3.3939394	57	93	0.000093	2196	27	0.000027	0.03	0.0001	0.290322581
17678.57143	70	70000	3.959596	78	72	0.000072	2199	30	0.00003	0.03	0.0001	0.416666667
17678.57143	80	80000	4.5252525	43	107	0.000107	2200	31	0.000031	0.03	0.0001	0.289719626
17678.57143	90	90000	5.0909091	30	120	0.00012	2202	33	0.000033	0.03	0.0001	0.275
17678.57143	100	100000	5.6565657	16	134	0.000134	2206	37	0.000037	0.03	0.0001	0.276119403
17678.57143	110	110000	6.2222222	0	150	0.00015	2210	41	0.000041	0.04	0.00013	0.273333333
17678.57143	120	120000	6.7878788	-15	165	0.000165	2213	44	0.000044	0.04	0.00013	0.266666667
17678.57143	130	130000	7.3535354	-31	181	0.000181	2210	41	0.000041	0.04	0.00013	Rata-rata= 0,29
17678.57143	140	140000	7.9191919	-50	200	0.0002	2221	52	0.000052	0.05	0.00017	
17678.57143	150	150000	8.4848485	-65	215	0.000215	2225	56	0.000056	0.05	0.00017	
17678.57143	160	160000	9.0505051	-80	230	0.00023	2228	59	0.000059	0.06	0.0002	
17678.57143	170	170000	9.6161616	-98	248	0.000248	2231	62	0.000062	0.06	0.0002	
17678.57143	180	180000	10.181818	-113	263	0.000263	2233	64	0.000064	0.06	0.0002	
17678.57143	190	190000	10.747475	-133	283	0.000283	2239	70	0.00007	0.07	0.00023	
17678.57143	200	200000	11.313131	-156	306	0.000306	2243	74	0.000074	0.07	0.00023	
17678.57143	210	210000	11.878788	-177	327	0.000327	2246	77	0.000077	0.07	0.00023	
17678.57143	220	220000	12.444444	-205	355	0.000355	2251	82	0.000082	0.08	0.00027	
17678.57143	230	230000	13.010101	-233	383	0.000383	2255	86	0.000086	0.09	0.0003	
17678.57143	240	240000	13.575758	-259	409	0.000409	2259	90	0.00009	0.09	0.0003	
17678.57143	250	250000	14.141414	-285	435	0.000435	2264	95	0.000095	0.09	0.0003	
17678.57143	260	260000	14.707071	-313	463	0.000463	2268	99	0.000099	0.1	0.00033	
17678.57143	270	270000	15.272727	-340	490	0.00049	2273	104	0.000104	0.1	0.00033	
17678.57143	280	280000	15.838384	-365	515	0.000515	2278	109	0.000109	0.11	0.00037	
17678.57143	290	290000	16.40404	-392	542	0.000542	2289	120	0.00012	0.11	0.00037	
17678.57143	300	300000	16.969697	-446	596	0.000596	2302	133	0.000133	0.11	0.00037	
17678.57143	310	310000	17.535354	-492	642	0.000642	2312	143	0.000143	0.12	0.0004	
17678.57143	320	320000	18.10101	-542	692	0.000692	2321	152	0.000152	0.12	0.0004	
17678.57143	330	330000	18.666667	-582	732	0.000732	2322	153	0.000153	0.13	0.00043	
17678.57143	340	340000	19.232323	-637	787	0.000787	2324	155	0.000155	0.13	0.00043	
17678.57143	350	350000	19.79798				2322	153	0.000153	0.14	0.00047	
17678.57143	360	360000	20.363636	strainmeter error			2323	154	0.000154	0.14	0.00047	
17678.57143	370	370000	20.929293				2325	156	0.000156	0.15	0.0005	
17678.57143	380	380000	21.494949				2322	153	0.000153	0.16	0.00053	



Tabel L.28 Hasil Tegangan-Regangan 35 MPa (3)

Data :	L =	300 mm	diameter =	150 mm								
	μ=	1E-06										
Luas (mm2)	P (kN)	P (N)	Tegangan (Mpa)	Hasil Pembacaan Starin Gauge						Hasil Pembacaan Ekstensometer		Poisson ratio
A=1/4*π*d^2			σ = P/A	Lu _y (μm)	ε _{axial} (μm)	ε _{axial}	L _x (μm)	ε _{lateral} (μm)	ε _{lateral}	Δl (mm)	ε	U= ε _{lateral} / ε _{aksial}
17678.5714	0	0	0	0	0	0	1411	0	0	0	0	#DIV/0!
17678.5714	10	10000	0.565657	244	0	0	1413	2	0.000002	0	0	#DIV/0!
17678.5714	20	20000	1.131313	225	19	0.000019	1419	8	0.000008	0.01	3.333E-05	0.421052632
17678.5714	30	30000	1.69697	203	41	0.000041	1422	11	0.000011	0.01	3.333E-05	0.268292683
17678.5714	40	40000	2.262626	184	60	0.00006	1427	16	0.000016	0.02	6.667E-05	0.266666667
17678.5714	50	50000	2.828283	162	82	0.000082	1430	19	0.000019	0.02	6.667E-05	0.231707317
17678.5714	60	60000	3.393939	137	107	0.000107	1435	24	0.000024	0.03	0.0001	0.224299065
17678.5714	70	70000	3.959596	110	134	0.000134	1439	28	0.000028	0.03	0.0001	0.208955224
17678.5714	80	80000	4.525253	94	150	0.00015	1443	32	0.000032	0.03	0.0001	0.213333333
17678.5714	90	90000	5.090909	80	164	0.000164	1446	35	0.000035	0.04	0.0001333	0.213414634
17678.5714	100	100000	5.656566	51	193	0.000193	1450	39	0.000039	0.04	0.0001333	0.202072539
17678.5714	110	110000	6.222222	32	212	0.000212	1454	43	0.000043	0.04	0.0001333	0.202830189
17678.5714	120	120000	6.787879	5	239	0.000239	1459	48	0.000048	0.04	0.0001333	0.20083682
17678.5714	130	130000	7.353535	-22	266	0.000266	1464	53	0.000053	0.04	0.0001333	0.19924812
17678.5714	140	140000	7.919192	-44	288	0.000288	1468	57	0.000057	0.05	0.0001667	Rata-rata = 0,23
17678.5714	150	150000	8.484848	-87	331	0.000331	1472	61	0.000061	0.05	0.0001667	
17678.5714	160	160000	9.050505	-99	343	0.000343	1477	66	0.000066	0.06	0.0002	
17678.5714	170	170000	9.616162	-134	378	0.000378	1482	71	0.000071	0.06	0.0002	
17678.5714	180	180000	10.18182	-157	401	0.000401	1486	75	0.000075	0.07	0.0002333	
17678.5714	190	190000	10.74747	-191	435	0.000435	1491	80	0.00008	0.07	0.0002333	
17678.5714	200	200000	11.31313	-238	482	0.000482	1496	85	0.000085	0.07	0.0002333	
17678.5714	210	210000	11.87879	-283	527	0.000527	1500	89	0.000089	0.08	0.0002667	
17678.5714	220	220000	12.44444	-317	561	0.000561	1503	92	0.000092	0.08	0.0002667	
17678.5714	230	230000	13.0101	-373	617	0.000617	1507	96	0.000096	0.09	0.0003	
17678.5714	240	240000	13.57576	-431	675	0.000675	1513	102	0.000102	0.09	0.0003	
17678.5714	250	250000	14.14141	-502	746	0.000746	1522	111	0.000111	0.09	0.0003	
17678.5714	260	260000	14.70707	-581	825	0.000825	1545	134	0.000134	0.1	0.0003333	
17678.5714	270	270000	15.27273	-643	887	0.000887	1577	166	0.000166	0.1	0.0003333	
17678.5714	280	280000	15.83838	-710	954	0.000954	1603	192	0.000192	0.11	0.0003667	
17678.5714	290	290000	16.40404	-757	1001	0.001001	1621	210	0.00021	0.11	0.0003667	
17678.5714	300	300000	16.9697	-824	1068	0.001068	1649	238	0.000238	0.12	0.0004	
17678.5714	310	310000	17.53535	-885	1129	0.001129	1699	288	0.000288	0.13	0.0004333	
17678.5714	320	320000	18.10101	-941	1185	0.001185	1748	337	0.000337	0.14	0.0004667	
17678.5714	330	330000	18.66667	-1005	1249	0.001249	1822	411	0.000411	0.15	0.0005	
17678.5714	340	340000	19.23232	-1051	1295	0.001295	1865	454	0.000454	0.16	0.0005333	
17678.5714	350	350000	19.79798	-1112	1356	0.001356	1934	523	0.000523	0.17	0.0005667	
17678.5714	360	360000	20.36364	-1166	1410	0.00141	2001	590	0.00059	0.18	0.0006	
17678.5714	370	370000	20.92929	-1217	1461	0.001461	2069	658	0.000658	0.19	0.0006333	
17678.5714	380	380000	21.49495	-1260	1504	0.001504	2135	724	0.000724	0.2	0.0006667	
17678.5714	390	390000	22.06061	-1297	1541	0.001541	2202	791	0.000791	0.22	0.0007333	
17678.5714	400	400000	22.62626	-1337	1581	0.001581	2303	892	0.000892	0.24	0.0008	
17678.5714	410	410000	23.19192	-1000	1244	0.001244	2667	1256	0.001256	0.4	0.0013333	
17678.5714	420	420000	23.75758	-799	1043	0.001043	3563	2152	0.002152	0.45	0.0015	



LAMPIRAN 8 DATA INPUT MATERIAL DARI EKSPERIMEN

Tabel L.29 Data Input ATRE1

ATRE 1				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.5656566	0	
1.131313131	0.000023	1.1313392	2.3E-05	
1.696969697	0.000038	1.6970342	3.8E-05	
2.262626263	0.000055	2.2627507	5.5E-05	
2.828282828	0.000070	2.8284808	7E-05	
3.393939394	0.000090	3.3942448	9E-05	
3.95959596	0.000103	3.9600038	0.000103	
4.525252525	0.000125	4.5258182	0.000125	
5.090909091	0.000148	5.0916625	0.000148	
5.656565657	0.000169	5.6575216	0.000169	
6.222222222	0.000192	6.2234169	0.000192	
6.787878788	0.000216	6.789345	0.000216	0
7.353535354	0.000244	7.3553296	0.000244	2.8E-05
7.919191919	0.000271	7.921338	0.000271	5.5E-05
8.484848485	0.000300	8.4873939	0.0003	8.4E-05
9.050505051	0.000332	9.0535098	0.0003319	0.000116
9.616161616	0.000373	9.6197484	0.0003729	0.000157
10.18181818	0.000407	10.185962	0.0004069	0.000191
10.74747475	0.000452	10.752333	0.0004519	0.000236
11.31313131	0.000501	11.318799	0.0005009	0.000285
11.87878788	0.000563	11.885476	0.0005628	0.000347
12.44444444	0.000647	12.452496	0.0006468	0.000431
13.01010101	0.000752	13.019885	0.0007517	0.000536
13.57575758	0.000931	13.588397	0.0009306	0.000715
14.14141414	0.001070	14.156545	0.0010694	0.000853
14.70707071	0.001320	14.726484	0.0013191	0.001103
15.27272727	0.001645	15.297851	0.0016436	0.001428
15.83838384	0.002070	15.871169	0.0020679	0.001852

Tabel L.30 Data Input ATRE2

ATRE 2				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.565656566	0	
1.131313131	0.000012	1.131326707	1.19999E-05	
1.696969697	0.000023	1.697008727	2.29997E-05	
2.262626263	0.000036	2.262707717	3.59994E-05	
2.828282828	0.000047	2.828415758	4.69989E-05	
3.393939394	0.000060	3.39414303	5.99982E-05	
3.95959596	0.000072	3.959881051	7.19974E-05	
4.525252525	0.000085	4.525637172	8.49964E-05	
5.090909091	0.000100	5.091418182	9.9995E-05	
5.656565657	0.000114	5.657210505	0.000113994	
6.222222222	0.000128	6.223018667	0.000127992	
6.787878788	0.000145	6.78886303	0.000144989	
7.353535354	0.000167	7.354763394	0.000166986	0
7.919191919	0.000195	7.920736162	0.000194981	2.79949E-05
8.484848485	0.000237	8.486859394	0.000236972	6.99859E-05
9.050505051	0.000291	9.053138747	0.000290958	0.000123972
9.616161616	0.000342	9.619450343	0.000341942	0.000174955
10.18181818	0.000381	10.18569745	0.000380927	0.000213941
10.74747475	0.000440	10.75220364	0.000439903	0.000272917
11.31313131	0.000509	11.3188897	0.000508871	0.000341884
11.87878788	0.000600	11.88591515	0.00059982	0.000432834
12.44444444	0.000675	12.45284444	0.000674772	0.000507786
13.01010101	0.000803	13.02054812	0.000802678	0.000635692
13.57575758	0.000944	13.58857309	0.000943555	0.000776569
14.14141414	0.001109	14.15709697	0.001108386	0.000941399
14.70707071	0.001497	14.72908719	0.001495881	0.001328895

Tabel L.31 Data Input ATRE3

ATRE 3				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.56565657	0	
1.131313131	0.000023	1.13133915	2.3E-05	
1.696969697	0.000047	1.69704945	4.7E-05	
2.262626263	0.000073	2.26279143	7.3E-05	
2.828282828	0.000102	2.82857131	0.000102	
3.393939394	0.000122	3.39435345	0.000122	
3.95959596	0.000151	3.96019386	0.000151	
4.525252525	0.000182	4.52607612	0.000182	
5.090909091	0.000222	5.09203927	0.000222	
5.656565657	0.000258	5.65802505	0.000258	0
6.222222222	0.000295	6.22405778	0.000295	3.7E-05
6.787878788	0.000337	6.7901663	0.0003369	7.9E-05
7.353535354	0.000390	7.35640323	0.0003899	0.000132
7.919191919	0.000447	7.9227318	0.0004469	0.000189
8.484848485	0.000512	8.48919273	0.0005119	0.000254
9.050505051	0.000597	9.0559082	0.0005968	0.000339
9.616161616	0.000691	9.62280638	0.0006908	0.000433
10.18181818	0.000802	10.189984	0.0008017	0.000544
10.74747475	0.000957	10.7577601	0.0009565	0.000699
11.31313131	0.001111	11.3257002	0.0011104	0.000852
11.87878788	0.001428	11.8957508	0.001427	0.001169
12.44444444	0.001834	12.4672676	0.0018323	0.001574
13.01010101	0.003384	13.0541272	0.0033783	0.00312

Tabel L.32 Data Input ATRE4

ATRE 4				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000020	0.565668	2E-05	
1.131313131	0.000037	1.131355	3.7E-05	
1.696969697	0.000034	1.697027	3.4E-05	
2.262626263	0.000044	2.262726	4.4E-05	
2.828282828	0.000059	2.82845	5.9E-05	
3.393939394	0.000074	3.394191	7.4E-05	
3.95959596	0.000087	3.95994	8.7E-05	
4.525252525	0.000135	4.525863	0.000135	
5.090909091	0.000117	5.091505	0.000117	0
5.656565657	0.000133	5.657318	0.000133	1.6E-05
6.222222222	0.000151	6.223162	0.000151	3.4E-05
6.787878788	0.000164	6.788992	0.000164	4.7E-05
7.353535354	0.000181	7.354866	0.000181	6.4E-05
7.919191919	0.000196	7.920744	0.000196	7.9E-05
8.484848485	0.000215	8.486673	0.000215	9.8E-05
9.050505051	0.000232	9.052605	0.000232	0.000115
9.616161616	0.000254	9.618604	0.000254	0.000137
10.18181818	0.000271	10.18458	0.000271	0.000154
10.74747475	0.000299	10.75069	0.000299	0.000182
11.31313131	0.000317	11.31672	0.000317	0.0002
11.87878788	0.000343	11.88286	0.000343	0.000226
12.44444444	0.000349	12.44879	0.000349	0.000232
13.01010101	0.000399	13.01529	0.000399	0.000282
13.57575758	0.000428	13.58157	0.000428	0.000311
14.14141414	0.000464	14.14798	0.000464	0.000347
14.70707071	0.000501	14.71444	0.000501	0.000384
15.27272727	0.000553	15.28117	0.000553	0.000436
15.83838384	0.000628	15.84833	0.000628	0.000511
16.4040404	0.000658	16.41483	0.000658	0.000541
16.96969697	0.000814	16.98351	0.000814	0.000697
17.53535354	0.000810	17.54956	0.00081	0.000693
18.1010101	0.000889	18.1171	0.000889	0.000772
18.66666667	0.001005	18.68543	0.001004	0.000888
19.23232323	0.001129	19.25404	0.001128	0.001011
19.7979798	0.001280	19.82332	0.001279	0.001162
20.36363636	0.001425	20.39265	0.001424	0.001307
20.92929293	0.001596	20.9627	0.001595	0.001478
21.49494949	0.001786	21.53334	0.001784	0.001667

Tabel L.33 Data Input ATRE5

ATRE 5				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000024	0.56567	2.4E-05	
1.131313131	0.000036	1.131354	3.6E-05	
1.696969697	0.000053	1.69706	5.3E-05	
2.262626263	0.000063	2.262769	6.3E-05	
2.828282828	0.000076	2.828498	7.6E-05	
3.393939394	0.000090	3.394245	9E-05	
3.959595956	0.000103	3.960004	0.000103	
4.525252525	0.000123	4.525809	0.000123	
5.090909091	0.000136	5.091601	0.000136	
5.656565657	0.000153	5.657431	0.000153	
6.222222222	0.000166	6.223255	0.000166	
6.787878788	0.000181	6.789107	0.000181	
7.353535354	0.000201	7.355013	0.000201	
7.919191919	0.000223	7.920958	0.000223	
8.484848485	0.000234	8.486834	0.000234	
9.050505051	0.000256	9.052822	0.000256	
9.616161616	0.000281	9.618864	0.000281	
10.18181818	0.000313	10.18501	0.000313	0
10.74747475	0.000362	10.75137	0.000362	4.9E-05
11.31313131	0.000419	11.31787	0.000419	0.000106
11.87878788	0.000472	11.88439	0.000472	0.000159
12.44444444	0.000524	12.45097	0.000524	0.000211
13.01010101	0.000563	13.01743	0.000563	0.00025
13.57575758	0.000606	13.58398	0.000606	0.000293
14.14141414	0.000658	14.15072	0.000658	0.000345
14.70707071	0.000698	14.71734	0.000698	0.000385
15.27272727	0.000739	15.28401	0.000739	0.000426
15.83838384	0.000783	15.85079	0.000783	0.00047
16.4040404	0.000832	16.41769	0.000832	0.000519
16.96969697	0.000894	16.98487	0.000894	0.000581
17.53535354	0.000962	17.55222	0.000962	0.000649
18.1010101	0.001031	18.11967	0.00103	0.000718
18.66666667	0.001118	18.68754	0.001117	0.000804
19.23232323	0.001211	19.25561	0.00121	0.000897
19.7979798	0.001302	19.82376	0.001301	0.000988
20.36363636	0.001408	20.39231	0.001407	0.001094
20.92929293	0.001677	20.96439	0.001676	0.001363

Tabel L.34 Data Input ATRE6

ATRE 6				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000020	0.56566788	2E-05	
1.131313131	0.000036	1.13135386	3.6E-05	
1.696969697	0.000050	1.69705455	5E-05	
2.262626263	0.000066	2.2627756	6.6E-05	
2.828282828	0.000084	2.8285204	8.4E-05	
3.393939394	0.000103	3.39428897	0.000103	
3.95959596	0.000121	3.96007507	0.000121	
4.525252525	0.000132	4.52584986	0.000132	
5.090909091	0.000154	5.09169309	0.000154	
5.656565657	0.000166	5.65750465	0.000166	
6.222222222	0.000183	6.22336089	0.000183	
6.787878788	0.000196	6.78920921	0.000196	
7.353535354	0.000218	7.35513842	0.000218	
7.919191919	0.000237	7.92106877	0.000237	
8.484848485	0.000258	8.48703758	0.000258	
9.050505051	0.000285	9.05308444	0.000285	0
9.616161616	0.000319	9.61922917	0.000319	3.4E-05
10.18181818	0.000354	10.1854225	0.000354	6.9E-05
10.74747475	0.000388	10.7516448	0.000388	0.000103
11.31313131	0.000429	11.3179846	0.000429	0.000144
11.87878788	0.000454	11.8841808	0.000454	0.000169
12.44444444	0.000535	12.4511022	0.000535	0.00025
13.01010101	0.000603	13.0179461	0.000603	0.000318
13.57575758	0.000700	13.5852606	0.0007	0.000415
14.14141414	0.000766	14.1522465	0.000766	0.000481
14.70707071	0.000838	14.7193952	0.000838	0.000553
15.27272727	0.000903	15.2865185	0.000903	0.000618
15.83838384	0.000953	15.8534778	0.000953	0.000668
16.4040404	0.001004	16.4205101	0.001003	0.000719
16.96969697	0.001051	16.9875321	0.00105	0.000765
17.53535354	0.001108	17.5547827	0.001107	0.000822
18.1010101	0.001137	18.1215909	0.001136	0.000851
19.7979798	0.001175	19.8212424	0.001174	0.000889
20.36363636	0.001241	20.3889076	0.00124	0.000955
20.92929293	0.001329	20.957108	0.001328	0.001043

Tabel L.35 Data Input ATRE7

ATRE 7				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.565657	0	
1.131313131	0.000001	1.131314	1E-06	
1.696969697	0.000002	1.696973	2E-06	
2.262626263	0.000003	2.262633	3E-06	
2.828282828	0.000005	2.828297	5E-06	
3.393939394	0.000006	3.39396	6E-06	
3.95959596	0.000007	3.959624	7E-06	
4.525252525	0.000008	4.525289	8E-06	
5.090909091	0.000013	5.090975	1.3E-05	
5.656565657	0.000015	5.656651	1.5E-05	
6.222222222	0.000016	6.222322	1.6E-05	
6.787878788	0.000021	6.788021	2.1E-05	
7.353535354	0.000041	7.353837	4.1E-05	
7.919191919	0.000046	7.919556	4.6E-05	0
8.484848485	0.000061	8.485366	6.1E-05	1.5E-05
9.050505051	0.000073	9.051166	7.3E-05	2.7E-05
9.616161616	0.000088	9.617008	8.8E-05	4.2E-05
10.18181818	0.000098	10.18282	9.8E-05	5.2E-05
10.74747475	0.000112	10.74868	0.000112	6.6E-05
11.31313131	0.000125	11.31455	0.000125	7.9E-05
11.87878788	0.000142	11.88047	0.000142	9.6E-05
12.44444444	0.000150	12.44631	0.00015	0.000104
13.01010101	0.000160	13.01218	0.00016	0.000114
13.57575758	0.000172	13.57809	0.000172	0.000126
14.14141414	0.000181	14.14397	0.000181	0.000135
14.70707071	0.000195	14.70994	0.000195	0.000149
15.27272727	0.000208	15.2759	0.000208	0.000162
15.83838384	0.000220	15.84187	0.00022	0.000174
16.4040404	0.000234	16.40788	0.000234	0.000188
16.96969697	0.000246	16.97387	0.000246	0.0002
17.53535354	0.000259	17.5399	0.000259	0.000213
18.1010101	0.000272	18.10593	0.000272	0.000226
18.66666667	0.000284	18.67197	0.000284	0.000238
19.23232323	0.000297	19.23804	0.000297	0.000251
19.7979798	0.000310	19.80412	0.00031	0.000264
20.36363636	0.000322	20.37019	0.000322	0.000276
20.92929293	0.000326	20.93612	0.000326	0.00028

Tabel L.36 Data Input ATRE8

ATR 8 (Terjadi kesalahan saat pengujian)				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000011	0.5656628	1.1E-05	
1.131313131	0.000029	1.1313459	2.9E-05	
1.696969697	0.000048	1.6970512	4.8E-05	
2.262626263	0.000063	2.2627688	6.3E-05	
2.828282828	0.000078	2.8285034	7.8E-05	
3.393939394	0.000092	3.3942516	9.2E-05	
3.95959596	0.000106	3.9600157	0.000106	
4.525252525	0.000121	4.5258001	0.000121	
5.090909091	0.000137	5.0916065	0.000137	
5.656565657	0.000151	5.6574198	0.000151	
6.222222222	0.000166	6.2232551	0.000166	
6.787878788	0.000183	6.789121	0.000183	
7.353535354	0.000197	7.354984	0.000197	
7.919191919	0.000214	7.9208866	0.000214	
8.484848485	0.000229	8.4867915	0.000229	
9.050505051	0.000242	9.0526953	0.000242	
9.616161616	0.000258	9.6186426	0.000258	
10.18181818	0.000272	10.184588	0.000272	
10.74747475	0.000290	10.750592	0.00029	
11.31313131	0.000304	11.316571	0.000304	
11.87878788	0.000320	11.882589	0.00032	
12.44444444	0.000335	12.448613	0.000335	
13.01010101	0.000353	13.014694	0.000353	
13.57575758	0.000367	13.58074	0.000367	
14.14141414	0.000390	14.146929	0.00039	
14.70707071	0.000417	14.713204	0.000417	
15.27272727	0.000450	15.2796	0.00045	0
15.83838384	0.000495	15.846224	0.000495	4.5E-05
16.4040404	0.000555	16.413145	0.000555	0.000105

Tabel L.37 Data Input ATRE9

ATRE 9				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.565657	0	
1.131313131	0.000016	1.131331	1.6E-05	
1.696969697	0.000026	1.697014	2.6E-05	
2.262626263	0.000040	2.262717	4E-05	
2.828282828	0.000052	2.82843	5.2E-05	
3.393939394	0.000070	3.394177	7E-05	
3.95959596	0.000078	3.959905	7.8E-05	
4.525252525	0.000088	4.525651	8.8E-05	
5.090909091	0.000100	5.091418	1E-04	
5.656565657	0.000109	5.657182	0.000109	
6.222222222	0.000123	6.222988	0.000123	
6.787878788	0.000136	6.788802	0.000136	
7.353535354	0.000148	7.354624	0.000148	
7.919191919	0.000162	7.920475	0.000162	
8.484848485	0.000174	8.486325	0.000174	
9.050505051	0.000187	9.052197	0.000187	0
9.616161616	0.000200	9.618085	0.0002	1.3E-05
10.18181818	0.000212	10.18398	0.000212	2.5E-05
10.74747475	0.000225	10.74989	0.000225	3.8E-05
11.31313131	0.000238	11.31582	0.000238	5.1E-05
11.87878788	0.000250	11.88176	0.00025	6.3E-05
12.44444444	0.000265	12.44774	0.000265	7.8E-05
13.01010101	0.000279	13.01373	0.000279	9.2E-05
13.57575758	0.000294	13.57975	0.000294	0.000107
14.14141414	0.000308	14.14577	0.000308	0.000121
14.70707071	0.000323	14.71182	0.000323	0.000136
15.27272727	0.000339	15.2779	0.000339	0.000152
15.83838384	0.000354	15.84399	0.000354	0.000167
16.4040404	0.000369	16.41009	0.000369	0.000182
16.96969697	0.000384	16.97621	0.000384	0.000197
17.53535354	0.000399	17.54235	0.000399	0.000212
18.1010101	0.000419	18.10859	0.000419	0.000232
18.66666667	0.000438	18.67484	0.000438	0.000251
19.23232323	0.000457	19.24111	0.000457	0.00027
19.7979798	0.000478	19.80744	0.000478	0.000291
20.36363636	0.000504	20.3739	0.000504	0.000317
20.92929293	0.000532	20.94043	0.000532	0.000345
21.49494949	0.000552	21.50681	0.000552	0.000365
22.06060606	0.000555	22.07285	0.000555	0.000368

Tabel L.38 Data Input ATRE11

ATRE 11				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.565657	0	
1.131313131	0.000020	1.131336	2E-05	
1.696969697	0.000044	1.697044	4.4E-05	
2.262626263	0.000064	2.262771	6.4E-05	
2.828282828	0.000079	2.828506	7.9E-05	
3.393939394	0.000093	3.394255	9.3E-05	
3.95959596	0.000072	3.959881	7.2E-05	
4.525252525	0.000107	4.525737	0.000107	
5.090909091	0.000120	5.09152	0.00012	
5.656565657	0.000134	5.657324	0.000134	
6.222222222	0.000150	6.223156	0.00015	
6.787878788	0.000165	6.788999	0.000165	
7.353535354	0.000181	7.354866	0.000181	0
7.919191919	0.000200	7.920776	0.0002	1.9E-05
8.484848485	0.000215	8.486673	0.000215	3.4E-05
9.050505051	0.000230	9.052587	0.00023	4.9E-05
9.616161616	0.000248	9.618546	0.000248	6.7E-05
10.18181818	0.000263	10.1845	0.000263	8.2E-05
10.74747475	0.000283	10.75052	0.000283	0.000102
11.31313131	0.000306	11.31659	0.000306	0.000125
11.87878788	0.000327	11.88267	0.000327	0.000146
12.44444444	0.000355	12.44886	0.000355	0.000174
13.01010101	0.000383	13.01508	0.000383	0.000202
13.57575758	0.000409	13.58131	0.000409	0.000228
14.14141414	0.000435	14.14757	0.000435	0.000254
14.70707071	0.000463	14.71388	0.000463	0.000282
15.27272727	0.000490	15.28021	0.00049	0.000309
15.83838384	0.000515	15.84654	0.000515	0.000334
16.4040404	0.000542	16.41293	0.000542	0.000361
16.96969697	0.000596	16.97981	0.000596	0.000415
17.53535354	0.000642	17.54661	0.000642	0.000461
18.1010101	0.000692	18.11354	0.000692	0.000511
18.66666667	0.000732	18.68033	0.000732	0.000551
19.23232323	0.000787	19.24746	0.000787	0.000606

Tabel L.39 Data Input ATRE12

ATRE 12				
Engineering stress	Engineering strain	True stress	True strain	Plastic Strain
0	0.000000	0	0	
0.565656566	0.000000	0.565657	0	
1.131313131	0.000019	1.131335	1.9E-05	
1.696969697	0.000041	1.697039	4.1E-05	
2.262626263	0.000060	2.262762	6E-05	
2.828282828	0.000082	2.828515	8.2E-05	
3.393939394	0.000107	3.394303	0.000107	
3.959595956	0.000134	3.960127	0.000134	
4.525252525	0.000150	4.525931	0.00015	
5.090909091	0.000164	5.091744	0.000164	
5.656565657	0.000193	5.657657	0.000193	
6.222222222	0.000212	6.223541	0.000212	
6.787878788	0.000239	6.789501	0.000239	
7.353535354	0.000266	7.355491	0.000266	
7.919191919	0.000288	7.921473	0.000288	0
8.484848485	0.000331	8.487657	0.000331	4.3E-05
9.050505051	0.000343	9.053609	0.000343	5.5E-05
9.616161616	0.000378	9.619797	0.000378	9E-05
10.18181818	0.000401	10.1859	0.000401	0.000113
10.74747475	0.000435	10.75215	0.000435	0.000147
11.31313131	0.000482	11.31858	0.000482	0.000194
11.87878788	0.000527	11.88505	0.000527	0.000239
12.44444444	0.000561	12.45143	0.000561	0.000273
13.01010101	0.000617	13.01813	0.000617	0.000329
13.57575758	0.000675	13.58492	0.000675	0.000387
14.70707071	0.000825	14.7192	0.000825	0.000537
15.27272727	0.000887	15.28627	0.000887	0.000599
15.83838384	0.000954	15.85349	0.000954	0.000666
16.4040404	0.001001	16.42046	0.001	0.000713
16.96969697	0.001068	16.98782	0.001067	0.000779
17.53535354	0.001129	17.55515	0.001128	0.000840
18.1010101	0.001185	18.12246	0.001184	0.000896
18.66666667	0.001249	18.68998	0.001248	0.000960
19.23232323	0.001295	19.25723	0.001294	0.001006
19.7979798	0.001356	19.82483	0.001355	0.001067
20.36363636	0.001410	20.39235	0.001409	0.001121
20.92929293	0.001461	20.95987	0.00146	0.001172
21.49494949	0.001504	21.52728	0.001503	0.001215
22.06060606	0.001541	22.0946	0.00154	0.001252
22.62626263	0.001581	22.66203	0.00158	0.001292

LAMPIRAN 9 INPUT DATA MATERIAL TEORITIS

Tabel L.40 Input Data Teoritis 20 MPa

$f_c' = 20$

$\epsilon_0 = 0.002$

E_c	f_c
0	0
0.0002	3.8
0.0004	7.2
0.0006	10.2
0.0008	12.8
0.001	15
0.0012	16.8
0.0014	18.2
0.0016	19.2
0.0018	19.8
0.002	20
0.0022	19.6
0.0024	19.2
0.0026	18.8
0.0028	18.4
0.003	18
0.0032	17.6
0.0034	17.2
0.0036	16.8
0.0038	16.4
0.004	16

Plastic strain	True Strain	True Stress
	0	0
	0.00019998	3.80076
	0.00039992	7.20288
0	0.00059982	10.20612
0.00019986	0.00079968	12.81024
0.00039968	0.0009995	15.015
0.000599461	0.00119928	16.82016
0.000799201	0.00139902	18.22548
0.000998901	0.00159872	19.23072
0.001198562	0.00179838	19.83564
0.001398183	0.001998	20.04

Tabel L.41 Input Data Teoritis 25 MPa

 $f_c' = 25$
 $\epsilon_0 = 0.002$

E_c	f_c
0	0
0.0002	4.75
0.0004	9
0.0006	12.75
0.0008	16
0.001	18.75
0.0012	21
0.0014	22.75
0.0016	24
0.0018	24.75
0.002	25
0.0022	24.5
0.0024	24
0.0026	23.5
0.0028	23
0.003	22.5
0.0032	22
0.0034	21.5
0.0036	21
0.0038	20.5
0.004	20

Plastic strain	True Strain	True Stress
	0	0
	0.0002	4.75095
	0.0003999	9.0036
0	0.0005998	12.75765
0.00019986	0.0007997	16.0128
0.00039968	0.0009995	18.76875
0.000599461	0.0011993	21.0252
0.000799201	0.001399	22.78185
0.000998901	0.0015987	24.0384
0.001198562	0.0017984	24.79455
0.001398183	0.001998	25.05

Tabel L.42 Input Data Teoritis 30 MPa

$f_c' = 30$

$\epsilon_0 = 0.002$

ϵ_c	f_c
0	0
0.0002	5.7
0.0004	10.8
0.0006	15.3
0.0008	19.2
0.001	22.5
0.0012	25.2
0.0014	27.3
0.0016	28.8
0.0018	29.7
0.002	30
0.0022	29.4
0.0024	28.8
0.0026	28.2
0.0028	27.6
0.003	27
0.0032	26.4
0.0034	25.8
0.0036	25.2
0.0038	24.6
0.004	24

Plastic strain	True Strain	True Stress
	0	0
	0.0002	5.70114
	0.0003999	10.80432
0	0.0005998	15.30918
0.00019986	0.0007997	19.21536
0.00039968	0.0009995	22.5225
0.000599461	0.0011993	25.23024
0.000799201	0.001399	27.33822
0.000998901	0.0015987	28.84608
0.001198562	0.0017984	29.75346
0.001398183	0.001998	30.06

Tabel L.43 Input Data Teoritis 35 MPa

 $f_c' = 35$
 $\epsilon_0 = 0.002$

ϵ_c	f_c
0	0
0.0002	6.65
0.0004	12.6
0.0006	17.85
0.0008	22.4
0.001	26.25
0.0012	29.4
0.0014	31.85
0.0016	33.6
0.0018	34.65
0.002	35
0.0022	34.3
0.0024	33.6
0.0026	32.9
0.0028	32.2
0.003	31.5
0.0032	30.8
0.0034	30.1
0.0036	29.4
0.0038	28.7
0.004	28

Plastic strain	True Strain	True Stress
	0	0
	0.0002	6.65133
	0.0004	12.60504
0	0.0006	17.86071
0.00019986	0.0008	22.41792
0.00039968	0.001	26.27625
0.000599461	0.001199	29.43528
0.000799201	0.001399	31.89459
0.000998901	0.001599	33.65376
0.001198562	0.001798	34.71237
0.001398183	0.001998	35.07

LAMPIRAN 10 KALIBRASI DARI TRUE STRAIN DAN STRESS KE ENGINEERING STRESS

Tabel L.44 Kalibrasi Tegangan

Kode	Hasil Uji Numerik		Hasil Uji Numerik	
	True Stress (Mpa)	True Strain	Engineering Stress (Mpa)	Engineering Strain
ATR1	15.87	0.00170	15.84	0.00171
ATR2	14.73	0.00149	14.71	0.00149
ATR3	13.05	0.00193	13.03	0.00193
ATR4	21.53	0.00162	21.50	0.00162
ATR5	20.96	0.00128	20.94	0.00128
ATR6	20.03	0.00064	20.02	0.00064
ATR7	20.05	0.00029	20.04	0.00029
ATR8	16.41	0.00070	16.40	0.00070
ATR9	35.68	0.00154	35.62	0.00154
ATR10	22.63	0.00190	22.58	0.00190
ATR11	19.25	0.00111	19.23	0.00111
ATR12	22.66	0.00155	22.63	0.00155

Kode	Hasil Uji Numerik		Hasil Uji Numerik	
	True Stress (Mpa)	True Strain	Engineering Stress (Mpa)	Engineering Strain
ATRB1	20.04	0.00194	20.00	0.00194
ATRB2	25.05	0.00187	25.00	0.00187
ATRB3	30.06	0.00182	30.01	0.00182
ATRB4	35.07	0.00186	35.00	0.00186

LAMPIRAN 11 HASIL PEMODELAN DARI DATA EKSPERIMENTAL

ATR I

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.06E-05	1.58841
2.13E-05	3.17571
3.72E-05	5.55532
0.000122592	9.14211
0.000607204	14.5352
0.000696371	14.8842
0.000858968	15.4107
0.001704	15.8712

ATR IV

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.29E-05	2.15649
2.58E-05	4.31294
7.98E-05	7.54926
0.000190006	12.4012
0.000687841	19.7366
0.00162265	21.5333

ATR II

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
2.54E-05	1.47464
5.09E-05	2.94769
8.90E-05	5.15463
0.000180872	8.46038
0.000599383	13.3827
0.0014906	14.7291

ATR V

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.39E-05	2.09928
2.78E-05	4.19765
4.87E-05	7.34368
0.000167743	12.0576
0.000564059	19.1022
0.00128358	20.9644

ATR III

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0.00E+00	0
8.90E-06	1.30506
1.78E-05	2.60976
3.12E-05	4.56614
0.000124601	7.49719
0.000667673	11.881
0.00192678	13.0541

ATR 6

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.57E-05	2.00654
3.14E-05	4.01247
5.50E-05	7.02032
0.000193037	11.5354
0.000547499	18.2837
0.000639393	20.0315

ATR 7

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.57E-05	2.0065
3.14E-05	4.01261
5.50E-05	7.02114
0.000126485	11.5363
0.000257476	18.2988
0.000291433	20.0508

ATR 10

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
2.07E-05	2.27043
4.13E-05	4.54057
7.23E-05	7.94529
0.000460239	13.0798
0.00117931	20.7535
0.00190061	22.6263

ATR 8

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.65E-05	1.64544
3.29E-05	3.29006
5.76E-05	5.7556
9.46E-05	9.45118
0.000150041	14.9894
0.000697661	16.4131

ATR 11

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
1.93E-05	1.9291
3.86E-05	3.85709
6.76E-05	6.74724
0.000187698	11.0768
0.000419068	17.5476
0.00110676	19.2475

ATR 9

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
2.75E-05	3.57343
5.50E-05	7.14267
0.000136325	12.4892
0.000356291	20.4547
0.000685498	32.3551
0.0015424	35.6786

ATR 12

TRUE STRAIN	TRUE STRESS (MPa)
0	0
2.06E-05	2.27007
4.13E-05	4.53929
7.32E-05	7.94591
0.000326	13.0451
0.000756	20.673
0.001548	22.662

LAMPIRAN 11 HASIL PEMODELAN DARI DATA TEORITIS

True Strain	True Stress (Mpa)
0	0
1.72E-05	2.00618
3.44E-05	4.01131
6.02E-05	7.01728
0.00025	11.525
0.000764	18.2683
0.001936	20.04

True Strain	True Stress (Mpa)
0	0
1.92E-05	2.50809
3.84E-05	5.01526
8.73E-05	8.7745
0.00018189	14.4187
0.00068522	22.879
0.0018662	25.05


True Strain	True Stress (Mpa)
0	0
2.10E-05	3.009
4.21E-05	6.0161
7.36E-05	10.5237
0.000272	17.2836
0.000797	27.3972
0.001816	30.06

True Strain	True Stress (Mpa)
0	0
2.27E-05	3.5112
4.55E-05	7.02092
7.96E-05	12.2831
0.000282	20.1836
0.000917	32.0259
0.001857	35.07

Dokumentasi

Tempat : Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Penelitian : Studi Numerik dan Eksperimental Distribusi Tegangan dan Regangan Beton

No	Waktu Pelaksanaan	Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
Pengujian Bahan Dasar			
1.	17-02-2017	Pemeriksaan Gradasi Agregat (Halus dan Kasar)	
2.	17-02-2017	Pemeriksaan Kadar Air Agregat	-
3.	17-02-2017	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	
4.	18-02-2017	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	-
5.	18-02-2017	Pemeriksaan Berat Isi Agregat	

Pembuatan Benda Uji			
1.	22-02-2017 25-02-2017 05-03-2017 08-03-2017	Pengecoran	
2.	22-02-2017 25-02-2017 05-03-2017 08-03-2017	Slump Test	
3.	22-02-2017 25-02-2017 05-03-2017 08-03-2017	Memasukkan beton pada cetakan	
Perawatan Benda Uji			
1.	28 hari dari masing-masing waktu pengecoran	Curing dilakukan dengan 2 cara : 1. Memasukkan ke dalam air 2. Menggunakan karung goni basah	

Pengujian dengan Mesin Tekan				
1.	21-03-2017 24-03-2017 01-04-2017 04-04-2017	Pemasangan Strain Gauge		
2.	21-03-2017 24-03-2017 01-04-2017 04-04-2017	Pemasangan Ekstensometer		
3.	21-03-2017 24-03-2017 01-04-2017 04-04-2017	Perletakan ke Mesin Tekan		
4.	21-03-2017 24-03-2017 01-04-2017 04-04-2017	Penyambungan kabel ke Strainmeter		